Aus der Strahlenklinik der Universität Marburg (Lahn)
Direktor: Professor Dr. R. du Mesnil de Rochemont

# Untersuchungen zur Strahlenbelastung des Patienten bei der Röntgendiagnostik des Thorax, des Magens und des Darmes in Abhängigkeit vom Ausbildungsstand des Untersuchers

INAUGURAL - DISSERTATION
zur Erlangung des Doktorgrades
der gesamten Medizin der Hohen Medizinischen Fakultät
der Philipps - Universität zu Marburg

vorgelegt von

Ulrike Wapenhensch

aus Thorn

Marburg 1968

Kleinoffsetdruck: Görich & Weiershäuser, Marburg

Aus der Strahlenklinik der Universität Marburg (Lahn)
Direktor: Professor Dr. R. du Mesnil de Rochemont

# Untersuchungen zur Strahlenbelastung des Patienten bei der Röntgendiagnostik des Thorax, des Magens und des Darmes in Abhängigkeit vom Ausbildungsstand des Untersuchers

INAUGURAL - DISSERTATION
zur Erlangung des Doktorgrades
der gesamten Medizin der Hohen Medizinischen Fakultät
der Philipps - Universität zu Marburg

vorgelegt von

Ulrike Wapenhensch

aus Thorn

Marburg 1968

Kleinoffsetdruck: Görich & Weiershäuser, Marburg

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Angenommen von der Medizinischen Fakutät
der Universität Marburg am 29. Januar 1968

gedruckt mit Genehmigung der Fakultät

Dekan: Prof. Dr. med. R. Siegert
Referent: Prof. Dr. med. F. Hess
Correferent: Prof. Dr. med. R. du Mesnil de Rochemont

Inhaltsverzeichnis


| | | |
|---|---|---|
| I | Einleitung | 1 |
| II | Strahlenbiologie | 2 |
| | 1. Allgemeine genetische Voraussetzungen | 2 |
| | a. Punktmutationen | 2 |
| | b. Chromosomenmutationen | 2 |
| | 2. Mutationsauslösende Agentien | 3 |
| | 3. Wirkungsweise der Strahlen | 3 |
| | a. Die Trefftertheorie | 3 |
| | b. Die indirekte Methode | 5 |
| | c. Heutige Theorien | 6 |
| | d. Sekundäreffekt der Strahlen | 7 |
| | 4. Abhängigkeit der Mutationen | 8 |
| | a. vom Alter bzw. Entwicklungszustand der Zelle | 8 |
| | b. von der Strahlenqualität | 9 |
| | c. von der Dosisleistung | 9 |
| | d. von der Temperatur | 9 |
| | e. von langwelligen Strahlen | 9 |
| | 5. Ergebnisse der Mutationsuntersuchungen | 9 |
| | a. Ein Schwellenwert existiert nicht | 1o |
| | b. Die Zahl der Mutationen steigt proportional zur Dosisleistung an | 1o |
| | c. Nach Abschluß des Mutationsvorgangs ist der Effekt irreversibel | 11 |
| | d. Die meisten sichtbaren Mutationen sind rezessiv | 11 |
| | e. Die meisten induzierten Mutationen sind bionegativ | 11 |
| | f. Strahleninduzierte Mutationen sind qualitativ verschieden von spontanen | 12 |
| III | Genetische Strahlenwirkungen beim Menschen | 13 |
| IV | Natürliche Strahlenbelastung | 15 |
| | 1. Kosmische Strahlung | 15 |

2. Terrestische Strahlung 15
3. Körpereigenstrahlung 15
V Künstliche Strahlenbelastung 17
1. Röntgendiagnostik, -therapie, radioaktive Isotope 17
2. Leuchtzifferblätter 2o
3. Fernsehapparate 21
4. Schuhdurchleuchtungen 21
5. Radioaktiver Niederschlag 21
VI Allgemeines 25
VII Strahlenschutz 28
VIII Dosimetrie 33
1. Verschiedene Methoden 33
2. Meßvorrichtung und Meßgröße 34
3. Diagnostik - Dosimeter "Diamentor" 36
4. Erste Ergebnisse aus mit dem Diamentor erzielten Meßreihen 36
IX Neue Untersuchungen an der Marburger Universitäts - Strahlenklinik 38
1. Allgemeine Einführung 38
2. Das Problem der Abhängigkeit der Belastung von Ausbildung und Erfahrung des Untersuchers 43
a. Der Verlauf der Kurven 43
b. Analyse der Kurven in Bezug auf die Abhängigkeit der Belastung von Ausbildung und Erfahrung 45
c. Die sich unter dem Gesichtspunkt des Strahlenschutzes ergebende Forderung an die künftige Röntgenausbildung der Ärzte 49
3. Der Einfluß der Verwendung der Fernsehübertragung auf die erreichten Werte 49
4. Vergleich der von Fachärzten durchschnittlich erreichten Werte mit denen der in der Ausbildung befindlichen Ärzte 51
X Diskussion 53
XI Zusammenfassung 55

## I Einleitung

Im Jahre 1927 entdeckte MULLER, daß Röntgenstrahlen beim Durchgang durch lebende Materie Änderungen des genetischen Materials - Mutationen - hervorrufen können. Diese Erkenntnis führte zur Erforschung der Phänomene der Strahlenbiologie und der Strahlengenetik, wie der Strahlenwirkungen auf den Menschen. Die Ergebnisse wurden zum größten Teil aus Versuchen mit Tieren gewonnen und sind deshalb nur mit einer gewissen Vorsicht auf den Menschen zu übertragen. Sie wurden allerdings durch einige Untersuchungen am Menschen in derselben Richtung ergänzt.

Die genetische Strahlenschädigung, die neben der kanzerogenen Wirkung - Leukämie - und der embryonalen Schädigung wohl die gefährlichste ist, rückte besonders in ein neues Licht, als der Wirkung kleinster Strahlenmengen auf große Bevölkerungskreise mehr Beachtung geschenkt wurde.

Im Laufe der Arbeit sollen die Versuche und Ergebnisse zusammengefaßt werden, aus denen sich die Forderung nach umfassendem Strahlenschutz ergeben hat. Untersuchungen zur Frage des Strahlenschutzes und der Strahlenbelastung in der Röntgendiagnostik nach Meßergebnissen aus der Marburger Universitäts - Strahlenklinik schließen sich an.

## II Strahlenbiologie

### 1. Allgemeine genetische Voraussetzungen

Das Erbgut - die Gene - ist in bestimmten Bezirken der Chromosomen, den Genorten, lokalisiert. Jede irreversible Änderung des Erbgutes wird als Mutation bezeichnet. Sie können sich in den Keimzellen und in den somatischen Zellen manifestieren, aber nur die Keimzellmutationen werden vom Ausgangsindividuum auf die Nachkommenschaft vererbt.

Man unterscheidet verschiedene Mutationsarten:

a. Punktmutationen sind Änderungen des Genoms, die im submikroskopischen Bereich auftreten. Die meisten phänotypisch sichtbaren Veränderungen, wie z.B. Hämophilie und progressive Muskeldystrophie, lassen sich auf Punktmutationen zurückführen.

b. Chromosomenmutationen sind zu unterteilen in Veränderungen des einzelnen Chromosoms und in Veränderungen der Chromosomenzahl. Letztere entstehen meistens durch Nichtauseinanderweichen der Chromosomen bei der Zellteilung, wodurch die Tochterzellen entweder ein Zuviel ( z.B. Trisomie 21 beim Down - Syndrom, das Klinefelter - Syndrom mit der Geschlechtsformel XXY ) oder ein Zuwenig ( z.B. das Ullrich Turner - Syndrom mit der Geschlechtsformel XO ) an Chromosomen enthalten.

Die Schädigungen im einzelnen Chromosom können vielfältig sein. Grundvorgang ist das Auftreten eines oder mehrerer Chromosomenbrüche.

Chromosomenveränderungen stellen häufig dominante und rezessive Letalfaktoren dar.

Außer sichtbaren Mutationen, dominanten und rezessiven Letalfaktoren bewirken Mutationen Störungen der Lebensfähigkeit, des Stoffwechsels und der Fertilität.

## 2. Mutationsauslösende Agentien

Mutationen können von vielerlei Agentien ausgelöst werden. So z.B. von Verbindungen, die im normalen und pathologischen Stoffwechsel entstehen, von Stoffen, die mit der Nahrung aufgenommen werden, wie Pflanzenschutzmittel, Konservierungsmittel, Aroma- und Farbstoffe und pharmazeutische Präparate. Außerdem von allen Strahlungen, die energiereich genug sind, Elektronen aus den Atomhüllen herauszuschlagen - Ionisationen auszulösen. Das sind alle elektromagnetischen Wellenstrahlen, die härter als UV - Licht sind, sowie die Korpuskularstrahlen wie $\alpha$-, $\beta$- und Neutronenstrahlung.

Auch ohne äußere Einflüsse ändert sich die Erbsubstanz, da der ständige Wechsel, der Auf- und Abbau der lebendigen Substanz Irrtümer nicht ausschließen kann. Selbst durch die thermodynamische Bewegung von Molekülen sollen Zusammenstöße zu Mutationen führen können.

## 3. Wirkungsweise der Strahlen

Um die strahlenbiologischen Vorgänge zu analysieren, wurden Versuche an organischen Substanzen, Pflanzen, Viren, Bakterien, Drosophila und an der Maus durchgeführt. Die Ergebnisse der Mausversuche sind naturgemäß am ehesten auf den Menschen übertragbar. Anhand der Versuche sind verschiedene Theorien entwickelt worden:

### a. Die Trefftheorie

Der Ablauf der Strahlenwirkung wurde erstmals von DESSAUER und seinen Mitarbeitern mit Hilfe der Treffer-

theorie zu erklären versucht. In abgewandelter, präzisierter und heute noch gültiger Formulierung besagt sie, daß der biologische Effekt der Strahlung durch direkte Wechselwirkung ( Treffer ) zwischen primären und sekundären Energieteilchen der Strahlung und einem strahlenempfindlichen Bereich innerhalb des biologischen Systems zustande kommt. Als strahlungsempfindlicher Bereich kommen alle Bestandteile der Zelle in Frage. Da bei der Treffertheorie der Ort der Energieabsorbtion dem des strahlenbiologischen Primäreffektes entspricht, müßte bei dieser Mutationstheorie eine direkte Strahleneinwirkung auf die Chromosomen vorliegen. In welcher Weise die direkte Trefferwirkung auf die Gene zur Punktmutation führt, kann man sich etwas genauer vorstellen, seitdem man deren Aufbau kennt.

Man weiß heute, daß die Gene aus Desoxyribonucleinsäure ( DNS ) bestehen. Die DNS ist eine hochpolymere Verbindung, bestehend aus Basen, Zucker und Phosphorsäure, die in Form der Nukleotide miteinander verknüpft sind. Die Basen sind die Purinderivate Adenin und Guanin und die Pyrimidine Cytosin und Thymin. Entscheidend für die genetische Information ist die Sequenz der Basen. Seit kurzem ist diese Information, bzw. der Code aller Aminosäuren entschlüsselt worden. Dabei hat sich herausgestellt, daß er aus drei Basen besteht, die in für jede Aminosäure festgelegter Reihenfolge angeordnet sind. Wichtig ist auch, daß eine Anfangsbase festgelegt wird, von der aus die Dreiergruppen abgelesen werden.

Wird durch einen direkten Treffer eine Base zerstört, so gerät die ganze Reihenfolge in Unordnung. Es entstehen "unsinnige" Dreiergruppen; das Protein wird nicht mehr gebildet ( KARLSON, 1962 ). Der Treffer hat damit eine Verlustmutation hervorgerufen ( z.B. der Verlust der Glucose - 1 - phosphat - Uridyl - Transferase, welcher zum erblichen Krankheitsbild der Galaktosämie führt ).

b. Die indirekte Methode

Mit der Deutung der direkten Strahlenwirkung ließen sich jedoch einige Phänomene nicht erklären:

Wenn man z.B. die wässrige Lösung einer Substanz bestrahlt, so nimmt bei Erhöhung der Konzentration in gewissen Grenzen der Strahleneffekt pro R - Einheit nicht zu.

Diese Erscheinung läßt sich in der Weise deuten, daß die Treffer indirekt über gebildete Sekundärprodukte auf die betreffende Substanz wirken. Auch die Zelle ist eine wässrige Lösung von 1o - 2o % Trockensubstanz. Bei deren gleichmäßiger Verteilung werden die Strahlen zu 8o - 9o % auf Wassermoleküle treffen. $H_2O$ - Moleküle zerfallen bei Bestrahlung in freie HO - Radikale und H - Radikale, die sich mit $O_2$ zu $HO_2$ und $H_2O_2$ verbinden. Ebenso können sich aus $H_2O$ - Spaltprodukten andere schwere Zellgifte wie $H_2C$, HCN, $NH_4$ und CO bilden. Jedes dieser Zellgifte hat ein bestimmtes Diffusionsvolumen, innerhalb dessen es die Trockensubstanz chemisch verändert, wenn es auf diese trifft. Bei dicht ionisierenden Strahlen, wie $\alpha$- Strahlen, kann sich auch ohne $O_2$ $H_2O_2$ bilden, denn dabei kommen die OH - Radikale in so unmittelbare Nachbarschaft, daß sie sich zu $H_2O_2$ vereinigen können.

Die Erhöhung der Mutationsbereitschaft bei Bestrahlung in Kälte läßt sich ebenfalls nur über sekundäre Wirkung, nämlich durch erhöhten $O_2$ - Spiegel erklären, der durch den langsameren Ablauf der Atmungskette entsteht.

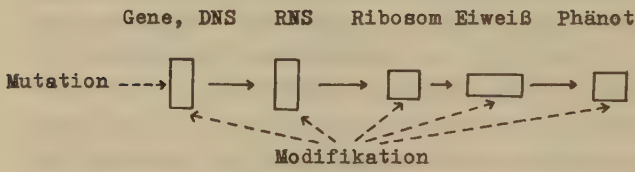
Eine weitere, mit der Treffertheorie nicht zu deutende Erscheinung ist der Schutzeffekt. Wird eine Substanz bestrahlt, so läßt sich der Strahleneffekt verringern, wenn man eine zweite Substanz zufügt und beide zusammen bestrahlt. Viele Schutzstoffe sind oxydabel, und so läßt sich der Schutzeffekt u.U. durch einen $O_2$ - Abfall erklären; oder aber die Strahlenwirkung wird durch die sensib-

lere Schutzsubstanz weggefangen.

Zahlreiche Versuche unterstützen die Annahme der indirekten Wirkung. Es zeigte sich, daß bei isolierter Bestrahlung des Zellplasmas der Zellkern Veränderungen ( Chromosomenbrüche ) aufwies. Auch das Plasma überträgt demnach den Strahleneffekt auf den Kern.

c. Heutige Theorien

Die direkte Treffertheorie und die indirekte Theorie über Zwischenprodukte sind eine Zeitlang gegeneinander ausgespielt worden. Heute weiß man, daß sie einander sinnvoll ergänzen. So wird der Strahleneffekt etwa zu dem Anteil direkt ausgelöst, der als Trockensubstanz im System vorhanden ist und indirekt etwa zu dem Anteil, der als $H_2O$ vorhanden ist. Mutationen ergeben sich nur, wenn es sich bei der Trockensubstanz um Chromosomen handelt; direkte Treffer anderer organischer Zellsubstanzen können nur zu Modifikationen führen.




( Nach FRITZ - NIGGLI, 1965 )

Nach BARANY, 1958 kommt es durch den Zerfall von $H_2O$ außer zur Radikalbildung noch zur ph - Verschiebung und zur Änderung des osmotischen Druckes, d.h. zur Milieuänderung, die organische Substanzen ebenfalls schädlich beeinflussen kann.

Nach SCHINZ und WIDEROE, 1964 wird durch die Strahlung die Membrandurchlässigkeit verändert. In der Zelle kommt es zum Anstieg von $Na^+$. Der erhöhte $Na^+$ - Spiegel soll die DNS-Synthese und die Zellteilung stören.

Gleicher Ansicht ist LESSLER, 1964, der den primären Strahlenschaden an den Membransystemen von Cytoplasma oder Kern sucht.

Dagegen schließt PAULY, 1962 aus Versuchen, daß der $K^+$ - und $Na^+$ - Durchtritt durch die Zellmembrane wenig strahlenempfindlich sei.

d. Sekundäreffekt der Strahlen

Als sekundäre Folgeerscheinungen der Strahleneinwirkung finden sich Chromosomenaberrationen, Störungen der Mitose, der Synthese von DNS, RNS und Störungen der Enzymtätigkeit.

Der Mechanismus der Zellteilung scheint viel strahlenempfindlicher zu sein als die DNS - Synthese. Dafür spricht auch die Bildung polyploider Zellen bei schon gestörter Zellteilung. Chromosomenbrüche entstehen ebenfalls bei geringer Strahlendosis: nach PAULY, 1962 induzieren etwa 5o - 1oo R, nach BENDER, 1957 etwa 15 R einen Chromosomenbruch in einer menschlichen Zelle. RNS und Proteinsynthese zeigen sich relativ strahlenresistent.

Allgemein läßt sich der Mutationsvorgang nach FRITZ - NIGGLI, 1962 in drei Phasen einteilen.

In der ersten wird die Strahlenenergie auf das Chromosom übertragen, in der zweiten entstehen reversible Vormutationszustände, in der dritten werden diese als Mutationen manifest,oder sie fallen in den ursprünglichen Zustand wieder zurück. Diese Heilung soll durch Außenfaktoren beeinflußt werden.

Über die Vorgänge in Phase II und III hat man jedoch

noch keine Klarheit gewonnen. Es existieren Einzelergebnisse und Vorstellungen, von denen oben einiges aufgezählt wurde. Doch hat man sie noch nicht in ein klares Bild einordnen können.

4. Abhängigkeit der Mutationen

Die Anzahl der Mutationen ist bei gleicher Strahlendosis nicht immer gleich, sondern von verschiedenen Faktoren abhängig:

a. vom Alter bzw. Entwicklungszustand der Zelle

FRITZ - NIGGLI, 1958 hat festgestellt, daß von den männlichen Keimzellen die Spermatogonien am empfindlichsten, die Spermatocyten und Spermatiden sehr empfindlich und die reifen Spermien wieder weniger empfindlich sind. Die Resistenzerhöhung der Spermien ließe sich durch die $H_2O$ - Abnahme erklären.

Weiter sind Zellen, die sich zur Teilung anschicken, strahlenempfindlicher als ruhende Zellen. Dieses Phänomen wird wahrscheinlich ebenfalls durch den $O_2$ - Gehalt der Zelle zu erklären sein. Die sich teilende Zelle reduziert ihre Atmung, woraus eine Erhöhung des $O_2$ - Spiegels und damit die größere Strahlensensibilität folgt.

RUSSELL und SAYLOR, 1963 haben als sensibelstes Stadium für Chromosomenaberrationen ( XO, XXY ) die Metaphase der ersten meiotischen Teilung in der Oogenese und die frühen Pronuklearstadien der Zygote angenommen.

Es ist überraschend, daß die Strahlenempfindlichkeit homologer Keimzellenentwicklungsstadien bei den verschiedensten Arten, auch Pflanzen, übereinstimmt ( MANDL, 1964 ).

Einschränkend wird angegeben, daß männliche Keimzellen insgesamt strahlenempfindlicher sind als weibliche.

b. von der Strahlenqualität

In Abhängigkeit von der Strahlenqualität treten um so mehr Mutationen auf, je größer die Ionisationsdichte der Strahlung ist. Röntgenstrahlen sind wirksamer als ultraharte $\gamma$ - Strahlen. Korpuskularstrahlung wirkt stärker als Photonenstrahlung ( FRITZ - NIGGLI, 1962 ). Der Effekt steigt mit zunehmender Ionisationsdichte an.

c. von der Dosisleistung

Bei konzentrierter Bestrahlung werden mehr Mutationen erzielt als bei verdünnten Dosen. Es wird angenommen, daß bei verdünnten Dosen mehr Brüche heilen können.

d. von der Temperatur

Die Zunahme der Mutationen bei Kälte ist schon erwähnt worden.

e. von langwelligen Strahlen

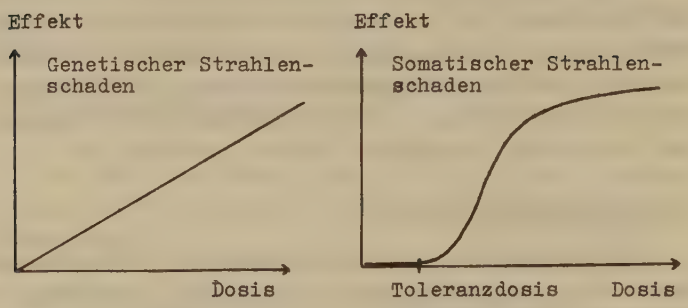
Infrarot vor der Bestrahlung erhöht die Zahl der Mutationen, UV nach der Bestrahlung vermindert sie.

Im Ergebnis ist das Alter bzw. der Entwicklungszustand der Zelle primär entscheidend für die Sensibilität. Die weiteren Faktoren können diesen jeweiligen Sensibilitätszustand nur modifizieren.

## 5. Ergebnisse der Mutationsuntersuchungen

Die wichtigsten Ergebnisse, die man von den Untersuchungen der Strahlenwirkung auf das Erbgut gewonnen hat, sind folgende:

a. Ein Schwellenwert existiert nicht




( Dosis - Effektkurven nach KROKOWSKI, 1965 )

Schon MULLER hatte angenommen, daß kein Schwellenwert für genetische Strahlenwirkung existiert, daß also vom genetischen Material alle noch so kleinen Dosen aquiriert und summiert werden, und daß es darauf mit einem Mutationsanstieg antwortet.

Anders liegt es bei der somatischen Strahlenwirkung. Für diese hat man eine Toleranzdosis feststellen können; d.h. kleinere Dosen als diese werden keinen biologischen Effekt hervorrufen.

b. Die Zahl der Mutationen steigt proportional zur Dosisleistung an

Lange Zeit wurde die Meinung vertreten, daß eine proportionale Beziehung zwischen Dosis und Mutationsanzahl besteht. Neuere Untersuchungen von RUSSELL und RUSSELL, 1958 haben gezeigt, daß nicht so sehr eine Proportionalität zur Dosis, sondern zur Dosisleistung besteht, und zwar in der Form, daß die chronische Bestrahlung weniger Mutationen auslöst als die kurzzeitige.

c. Nach Abschluß des Mutationsvorganges ist der Effekt irreversibel

d. Die meisten sichtbaren Mutationen sind rezessiv

Aus diesem Grund ist bis heute noch nicht die natürliche Gesamtmutationsrate des Menschen bekannt. Die natürliche Mutationsrate einiger dominanter, sichtbarer Mutationen ist an Hand von Erbleiden abgeschätzt worden.

Schätzungen der Mutationsrate einiger Gene beim Menschen nach NACHTSHEIM

| Krankheits-bezeichnung | unter 1 Mill. Keim-zellen sind mutiert |
|---|---|
| Epiloia | 4 - 8 |
| Chondrodystrophie | 1o - 7o |
| Pelger - Anomalie | 12 - 27 |
| Retinoblastum | 6 - 23 |
| Neurofibromatose | 1oo |

( Nach MARQUARDT - SCHUBERT, 1959 )

Sie beträgt pro Gen etwa 1 : 5o ooo. Wenn man als Minimum der menschlichen Gene 15 ooo pro Zelle annimmt, so erhält man eine Mutationsrate für dominante, sichtbare Mutationen von 3 : 1o; d.h. von je 1o Keimzellen tragen 3 Keimzellen eine zusätzliche Mutation. Die Gesamtmutationsrate liegt höher, da die wesentlich häufigeren rezessiven Mutationen noch nicht erfaßt sind.

e. Die meisten induzierten Mutationen sind bionegativ

Diese Ansicht wird von den meisten Forschern geteilt. KROKOWSKI, 1964 weist dagegen ausdrücklich darauf hin, daß ein Strahleneffekt noch keineswegs einem Strahlenschaden gleichzusetzen ist.

Demgegenüber berichtet LOEFFLER, 1962 von einem eindrucksvollen Versuch: Bei Pflanzen hat man durch ionisierende Strahlen die Mutationsrate erhöht, um wertvolle Neuzüchtungen zu erlangen. Das Ergebnis fiel so aus, daß man auf etwa 800 unvorteilhafte nur eine vorteilhafte Mutation erhielt. Dabei ist zu bedenken, daß die menschliche Zelle weitaus differenzierter ist.

f. Strahleninduzierte Mutationen sind qualitativ verschieden von spontanen

RUSSELL und RUSSELL, 1958 haben in Untersuchungen gezeigt, daß die strahleninduzierten Mutationen von anderer relativer Häufigkeit waren als die Spontanmutationen, d.h. es trat ein anderes Mutationsmuster auf. Es muß demnach mit der Entstehung neuer Arten gerechnet werden ( RAUSCH, 1962 ).

## III Genetische Strahlenwirkungen beim Menschen

Die Möglichkeiten, beim Menschen strahleninduzierte, genetische Veränderungen festzustellen, sind sehr begrenzt. Dennoch haben Untersuchungen an der Nachkommenschaft der Röntgenologen und der atombombengeschädigten Eltern von Hiroshima und Nagasaki wesentliche Ergebnisse geliefert, wenn sie auch exakter Versuchsbedingungen entbehrten.

1. MACHT und LAWRENCE, 1955 haben bei Untersuchungen an Kindern von Röntgenologen gezeigt, daß die Differenz von 6,01 % Mißbildungen gegenüber 4,82 % bei Kindern nicht exponierter Eltern statistisch gesichert ist.

2. Bei den Kindern der strahlenexponierten Eltern von Hiroshima und Nagasaki fand BUGHER, 1952 eine signifikante Erhöhung der Anomalien von 1,4 % gegenüber 1,18 % bei Kindern, deren Eltern nicht strahlenexponiert waren.

3. NEEL und SCHULL, 1956 sahen bei den letzteren Untersuchungen keine signifikante Erhöhung der Mißbildungen.

4. BELLEFEUILLE, 1961 hat die Berichte der amerikanischen Untersuchungskommission in Hiroshima und Nagasaki überprüft und führt den Nachweis, daß die Verschiebung des Geschlechtsverhältnisses, die Zunahme der kongenitalen Mißbildungen und der perinatalen Sterblichkeit doch signifikant sind.

Aus der relativ geringen Erhöhung der sichtbaren Veränderungen sollte jedoch keineswegs der Schluß gezogen werden, daß die mutagene Wirkung der Strahlen unerheblich war. Es konnte bisher nur die erste Generation der Nachkommenschaft der geschädigten Eltern untersucht werden,

und da die meisten sichtbaren Mutationen rezessiv sind, ist es unmöglich, daß sie alle schon in der ersten Generation in Erscheinung treten.

5. WILSON - COX, 1964 hat die Nachkommenschaft von Frauen untersucht, die während ihrer Kindheit und als Erwachsene auf Grund einer angeborenen Hüftgelenksluxation röntgendiagnostisch untersucht waren. Die Dosis von maximal 2o rad hat eine eindeutig höher liegende Mißbildungsrate hervorgerufen.

6. TURPIN u.a., 1958 stellten fest, daß bei Frauen, die therapeutisch in der Ovarialgegend bestrahlt worden waren, die Zahl der weiblichen Nachkommenschaft größer war als normalerweise. Die Verschiebung des Geschlechtsverhältnisses ist einem rezessiv geschlechtsgebundenen Letalgen der Frau zuzuschreiben.

( Nach BECK, DRESEL, MELCHING, 1959 )

## IV Natürliche Strahlenbelastung

Die natürliche Strahlenbelastung setzt sich ihrer Herkunft nach aus verschiedenen Anteilen zusammen:

1. der kosmischen Strahlung, einer ultraharten, aus dem Weltraum kommenden Strahlung.

2. der terrestischen Strahlung, die vor allem durch die Zerfallsreihen des Urans: Radium, Radon, des Thoriums: Thoron, und durch das radioaktive $K^{40}$ der Erdrinde bestimmt wird. Die terrestische Strahlung ist je nach Gesteinsuntergrund großen Schwankungen unterworfen. Weiter kann man hierzu noch die geringe Strahlung des Baumaterials der Wohnungen rechnen.

3. der Körpereigenstrahlung, die hauptsächlich durch die Inkorporation von $K^{40}$ und $C^{14}$ entsteht. $K^{40}$ wird als wichtiger Baustein aus der Erde, $C^{14}$ als $C^{14}O_2$ aus der Luft von der Pflanze aufgenommen und über die Nahrung dem Menschen zugeführt.

Genetisch bedeutungsvoll ist die natürliche Gesamtstrahlung, die während der Generationszeit, die mit der Zeugung des Menschen beginnt und mit Ablauf der Fruchtbarkeitsperiode endet, auf die Keimzellen einwirkt und Mutationen auslösen kann. Nach der Generationszeit ist eine Änderung der Erbsubstanz nicht mehr von Bedeutung, da sie der Nachkommenschaft nicht weitervererbt wird. Die meisten Autoren begrenzen diesen Zeitraum auf 3o Jahre, für den ein Gesamtbetrag der natürlichen Strahlenbelastung von 3,3 R anzusetzen ist.

SEELENTAG, 1958 hat die Generationsspanne von 3o Jahren überprüft. Nach eingehenden Untersuchungen, in denen er das nach Geschlecht und Gesellschaftsschichten unter-

schiedliche Geburtsalter der Eltern berücksichtigte, hat er sie für Frauen auf 35 Jahre und für Männer auf 4o Jahre erhöht. Die natürliche Strahlenbelastung pro Generation erhöht sich daher für Frauen auf 3,9 R, für Männer auf 4,4 R.

Gonadendosis durch natürliche Strahlenquellen:

| Strahlenquelle | Autoren | | | | Einheit |
|---|---|---|---|---|---|
| | MUTH u. OBERHAUSEN | SEELENTAG für Deutschland | BECK DRESEL MELCHING | SEGALL | |
| <u>von außen</u>: | | | | | |
| kosm. Strahl. in Meeresh. | 3o | 3o | 35 | 33 | m R/a |
| Neutronen | - | - | - | 25 | |
| terrest.-Umgebungsstrahl. | 45-7o | 58 | 7o | 75 | |
| <u>von innen</u>: | | | | | |
| Durch Inkorporation von | | | | | |
| $K^{4o}$ | 19 | 19 | 19 | 1o | mrad/a |
| $C^{14}$ | 1,6 | 1,1 | 1,5 | 1 | |
| Rn, $Ra^{226}$, $Th^{228}$, $Po^{21o}$ | o,3 | 2 | 5 | 4 | |
| | 111 | 11o | 13o | 15o | |

## V Künstliche Strahlenbelastung

Obgleich die natürlichen Grundstrahlen nach neueren Erkenntnissen nur einen geringen Teil der spontanen Mutationen auslösen, hat sich unter ihrer Größe im Laufe der Menschheitsgeschichte eine noch als gefahrlos anzusehende Mutationsrate eingespielt. Sie kann somit als Maßstab einer kaum in's Gewicht fallenden genetischen Schädigung aufgefaßt werden.

Durch die Anwendung ionisierender Strahlen in Medizin und Technik ist die Belastung des genetischen Materials in der heutigen Zivilisation angestiegen. Die Frage, ob diese zusätzliche Belastung die Menschheitsentwicklung stärker gefährden werde, hat allenthalben Untersuchungen ausgelöst, deren Größe zu erfassen und mit der Grundstrahlung in Verbindung zu setzen.

Die künstlichen Strahlenquellen sind im wesentlichen:

1. Röntgendiagnostik, -therapie und medizinische Anwendung radioaktiver Isotope
2. Leuchtzifferblätter
3. Fernsehapparate
4. Schuhdurchleuchtungen
5. Radioaktive Niederschläge durch Atombombenexplosionen

### 1. Röntgendiagnostik, -therapie, radioaktive Isotope

Nach umfangreichen Untersuchungen in verschiedenen Ländern hat sich herausgestellt, daß die Röntgendiagnostik den Hauptanteil zur künstlichen Strahlenbelastung beiträgt.

Genetisch signifikante Dosis in verschiedenen Ländern abgeändert nach UNO - REP - A/3838
( SEELENTAG, 1963 )

| Land | Jahr der Veröffentlichung | GSD m R/a | |
|---|---|---|---|
| | | Diagnostik | Therapie |
| England und Wales | 1956 | 22 | - |
| USA | 1956 | 4o-13o | 1o |
| Australien | 1956 | 15o | 28 |
| Dänemark | 1957 | 26 | 1,5 |
| Frankreich | 1958 | 56,7 | - |
| Schweden | 1958 | 37,9 | - |
| Ungarn | 1959 | 59,9 | o,6 |
| Jugoslawien | 1959 | 74 | - |
| Rom | 196o | 41,9 | |

Die Röntgentherapie und die radioaktiven Isotope liefern ebenfalls einen kleinen Anteil zur Gesamtbelastung. Es ist dabei aber zu berücksichtigen, daß davon hauptsächlich höhere Altersklassen, die jenseits des fortpflanzungsfähigen Alters stehen, betroffen sind.

In Deutschland haben HOLTHUSEN für Hamburg und SEELENTAG für Bayern den Anteil der Strahlenbelastung in der Medizin ermittelt.

Die Untersuchungen an 1 4oo ooo Personen in Hamburg ergaben eine jährliche Gonadendosis von 17,7 mR für Diagnostik und 2,2 mR für Therapie, insgesamt ca. 2o mR ( HOLTHUSEN, 1961 ).

SEELENTAG, 1958 hat die genetische Strahlenbelastung der Bevölkerung Bayerns durch röntgendiagnostische Maßnahmen in Krankenhäusern ermittelt. Die Gonadenmessungen

wurden mit Hilfe von Kondiometerkammern am Hoden und im hinteren Scheidengewölbe sowie mit Hilfe von Hautdosismessungen an 7oo Patienten durchgeführt. Es ergaben sich folgende Werte:

| Aufnahmen | mR | Mittel |
|---|---|---|
| Lungenaufnahme d.v. | o,o1 - o,3 | o,o4 |
| Thoraxdurchleuchtung | o,3 - 2,9 | 1,2 |
| Schirmbild | o,4 - o,7 | o,5 |
| Magen-Darmpassage: | | |
| bei Männern | 2,4 - 84 | 19 |
| bei Frauen | 2o - 63o | 15o |
| Beckenübersicht: | | |
| bei Männern | 6o - 82o | 48o |
| bei Frauen | 15o - 33o | 24o |

Die großen Schwankungen der Meßergebnisse führt SEELENTAG einmal auf die unterschiedliche Konstitution der Patienten, zum anderen auf die jeweilige Untersuchungstechnik zurück. Auf Grund seiner Ergebnisse hat SEELENTAG die Belastung pro Jahr und Kopf der Bevölkerung mit 2o mR = 2o % der natürlichen Grundstrahlung angegeben. Er betont gleichzeitig, daß die Werte bei schlechter Technik auf 5oo - 9oo % der natürlichen Grundstrahlung ansteigen können.

Die einzelnen Untersuchungen des Thorax rufen von allen diagnostischen Maßnahmen die weitaus geringste Gonadenbelastung hervor. Jedoch ist der Anteil der Thoraxuntersuchungen in der Röntgendiagnostik am größten. Deshalb ist bei der Durchführung der Röntgenschirmbilduntersuchungen vielfach die Frage aufgetaucht, ob sie in Hin-

blick auf die eventuelle Strahlengefährdung überhaupt gerechtfertigt seien.

In England und Schottland wurden 1957 ( WINDEYER ) an Hand von 5 Millionen Aufnahmen 17 835 Fälle überwachungsbedürftiger TBC, 2 362 Lungencarcinome, 12 ooo Herzfehler und 9 4oo Pneumokoniosen entdeckt.

Diese Zahlenangaben werden einem eventuellen Strahlenschaden entgegengehalten. Dazu bemerkt LORENZ, 1961: Die Wahrscheinlichkeit, daß durch eine Schirmbildaufnahme eine TBC entdeckt wird, ist 1 ooo x größer als die Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer Mutation.

Bei Kindern liegt die genetische Gefährdung insofern höher, als der Abstand der Keimdrüsen von den untersuchten Regionen geringer ist als beim Erwachsenen. Andererseits ist die geringe Körpergröße günstiger, da bei genauer Einblendung die Exposition niedriger ist.

Trotzdem sind nach SEELENTAG, 1958 bei Kindern unter 1 Jahr alle Untersuchungen mit einer relativ hohen Strahlenbelastung verbunden, bei älteren Kindern nur die Untersuchungen des Abdominal- und Beckenbereiches.

## 2. Leuchtzifferblätter

Die Strahlenbelastung durch Leuchtzifferblätter hängt hauptsächlich von deren Radiumgehalt ab. Für England wird angenommen, daß die Belastung durch Armbanduhren und Wekker mit Leuchtzifferblatt und durch die Leuchtstoffe zur Verkehrssicherheit von Fußgängern sowie bei Armaturenbrettern 1 % der Grundstrahlung ausmachen.

SEELENTAG und KLOTZ, 1959 ermitteln eine mittlere Belastung der Bevölkerung durch Uhren mit Leuchtzifferblatt von 2 % der Grundstrahlung.

3. Fernsehapparate

Die Belastung durch die Röntgenstrahlen, die bei Kathodenstrahlröhren der Fernsehapparate auftreten können, beträgt bei den meisten deutschen Markenartikeln in 1o cm Abstand weniger als $1o^{-6}$ R/Std. ( BECK, DRESEL, MELCHING ). Sie ist unerheblich.

4. Schuhdurchleuchtungen

Nach britischen Angaben beträgt die Strahlenbelastung durch Röntgendurchleuchtungsgeräte in Schuhgeschäften nicht mehr als o,1 % der Grundstrahlung ( BECK, DRESEL, MELCHING ).

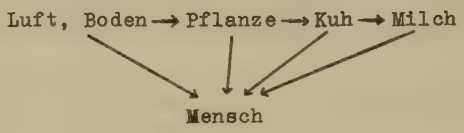
Die mittlere genetische Belastung der Bevölkerung pro Kopf und Jahr haben SEELENTAG und PEK, 1959 an Hand von 23 - 25 Millionen Durchleuchtungen jährlich mit o,o1 mrem angegeben. Eine Strahlengefährdung liegt bei diesen Größenordnungen nicht vor. Die Verfasser bezweifeln allerdings auch den Nutzen der Anwendung.

5. Radioaktiver Niederschlag

Die Strahlengefährdung des Menschen wird in letzter Zeit wesentlich erhöht durch eine Menge radioaktiver Substanzen, die bei Atombombenexplosionen frei werden und mit ungeheurem Druck in die Atmosphäre geschleudert werden. Ein Teil der Substanzen verliert seine Radioaktivität sehr rasch, andere Teile haben eine Halbwertzeit von Monaten, Jahren und Jahrhunderten. Die radioaktiven Teilchen sinken langsam in die Wolkenschichten hinab und werden mit den Luftbewegungen der Atmosphäre transportiert, bis sie mit Schnee, Regen oder Staub niederschlagen.

Die radioaktiven Teilchen wirken auf Pflanzen, Tiere und Menschen ein. Die Wege, auf denen sie in den Menschen

gelangen, sind vielfältig. Von besonderer Bedeutung sind die Biocyclen: Boden, Luft - Pflanze - Kuh - Milch - Mensch.




Diesen Weg verfolgt z.B. das radioaktive $Sr^{90}$. Pflanzen speichern es in Abhängigkeit vom Ca - $Sr^{90}$ Verhältnis, und über das Weidevieh gelangt es in die Milch ( RUSSELL, 1958 ). Milchproben aus den Jahren 1955 - 1957 ( häufige Kernwaffenversuche ) zeigen einen Anstieg der $Sr^{90}$ Aktivitäten von 3 x $10^{-9}$ $Sr^{90}/cm^3$ auf 8 x $10^{-9}$ $Sr^{90}/cm^3$ ( BECK, DRESEL, MELCHING ). Nach Kontrollen in den USA nimmt der Mensch $Sr^{90}$ zu 50 % aus Milch und Milchprodukten auf ( CHADWICK, 1962 ). $Sr^{90}$ lagert sich als Ersatz des Ca im Knochen ab und ist von dort nicht mehr zu entfernen. Die Gonadenbelastung beträgt dadurch etwa 1 mrem/a. Radioaktives $J^{131}$ fand sich in Frischgemüse. Es ist wegen der Speicherung in der Schilddrüse nicht ungefährlich. Die nach den Kernwaffenversuchen im Herbst 1961 gefundenen Aktivitäten betrugen bis 1076 pc/kg Kohl oder Salat ( KIRSTNER, 1964 ).

Als Gesamtbelastung der durch Kernwaffenversuche hervorgerufenen Radioaktivität nahm man 1956 noch weniger als 1 % der natürlichen Grundstrahlung an. Man fand, daß dieser Betrag gegenüber der medizinischen Strahlenbelastung zu vernachlässigen sei. 1958 stieg diese Belastung auf 5 % an und 1961 auf 10 - 80 % der natürlichen Grundstrahlen ( HLTH.PHYS. 1963 ). In der Bundesrepublik beträgt jetzt die Strahlenbelastung, vor allem infolge der

russischen Atombombenexplosionen, 1o - 2o % der Grundstrahlen ( MEISSNER, 1965 ). Innerhalb 1o Jahre hat sich demnach die Strahlenbelastung durch Kernwaffen in ihrem Ausmaß der medizinischen Strahlenbelastung angenähert.

Nach einer Aufstellung der zusätzlichen Strahlenbelastung von SEELENTAG betrug diese 28 mrem/a mit einem "Fall - out" Anteil von 3 mrem/a. Die zusätzliche Strahlenbelastung dürfte nach den Ergebnissen von MEISSNER ca. 4o mrem/a betragen.

SEELENTAG, 1963

| Strahlenquelle | Autor | mittl.gen. Belast. mrem/a |
|---|---|---|
| 1. Strahlenbelast. durch med.Anwendung v.Röntgenstrahlen u. Radioisotopen | | |
| Rö.-Diagnostik | HOLTHUSEN für Hamburg | 17,7 |
| | SEELENTAG für Bayern | 14 |
| Rö.-Therapie | HOLTHUSEN | 2,2 |
| | SEELENTAG | 9,6 |
| $J^{131}$-Diagnostik | HOLTHUSEN | o,o1 |
| | SEELENTAG | o,o1 |
| | | 2o |
| 2. Strahlenbelast. durch berufl.Beschäf. i.d.Med.u.a.Berufen | geschätzt | 1,5 |
| | | o,7 |
| | | 2,2 |
| 3. Strahlenbelast. durch "Kleinquellen" | | |
| Armbanduhren mit Leuchtzifferblatt | SEELENTAG | 2,5 |
| Wecker | SEELENTAG | o,1 |

| Strahlenquelle | Autor | mittl.gen. Belast. mrem/a |
|---|---|---|
| Schuhdurchl.geräte | SEELENTAG | o,o1 |
| Fernsehgeräte | SEELENTAG | vernachlässigbar |
| | | 2,6 |
| 4. Strahlenbelast. durch "Fall-out" | | |
| $Cs^{137}$ außen | geschätzt | 2 |
| durch Inkorporation | | |
| $Cs^{137}$ | STAHLHOFEN | 1 |
| $Sr^{90}$ | STAHLHOFEN | 1 |
| | | 3 |
| insgesamt | | 28 |

Es sind die Strahlenbelastungen aus verschiedenen Quellen zusammengetragen worden, von denen die einzelne mehr oder weniger bedeutsam ist. Entscheidend für genetische Gesichtspunkte ist aber nicht die Größe der einzelnen Strahlenquelle, sondern die Summe aller Einzelwerte.

## VI Allgemeines

Die Frage, inwieweit die augenblickliche Strahlenbelastung eine Gefährdung des genetischen Materials darstellt, konnte bis jetzt noch nicht beantwortet werden. Das Ergebnis, daß noch so kleine Strahlendosen Mutationen auslösen können, daß z.B. kleinste Strahlenmengen bei der menschlichen Zygote etwa zum Krankheitsbild des Down - Syndroms führen können ( FRITZ - NIGGLI, 1965 ), zwingt zu der Erkenntnis, daß die Strahlenbelastung so gering wie möglich gehalten werden muß und jede unnötige Anwendung von Strahlen vermieden werden sollte. Andernfalls wird die Gefahr gehäuften Auftretens von Erbkrankheiten heraufbeschworen, denn, sind die Mutationen erst einmal entstanden, so lassen sie sich nicht mehr rückgängig machen.

Eine gewisse Entlastung bringen die Untersuchungen von RUSSELL insofern, als bestimmte Dosen auf langen Zeitraum verteilt weniger Mutationen auslösen, als dieselben Dosen kurzfristig eingestrahlt.

Dagegen wirkt sich der Umstand, daß sich induzierte Mutationen von spontanen unterscheiden, erschwerend aus und bringt eine gewisse Unsicherheit mit sich. Es ist also nicht nur so, daß bei Erhöhung der Strahlenbelastung eine Zunahme der bestehenden Erbkrankheiten und Letalfaktoren resultieren würde, sondern es sind neue, andersartige Folgen zu erwarten.

Betrachtet man den Weg der Mutationen in zukünftigen Generationen, so kommt man zu folgenden Überlegungen:

1. Nicht jede Mutation wird weitervererbt, da sich nicht alle Individuen fortpflanzen.

2. Dominante Mutationen treten bereits in der ersten Ge-

neration auf. Dominante Letalfaktoren sind von vornherein nicht fortpflanzungsfähig.

3. Rezessive Mutationen treten erst nach vielen Generationen in Erscheinung, wenn durch zufällige Paarung zweier homologer Mutanten das Merkmal phänotypisch sichtbar wird.

4. Lebend werden die Mutationen für längere Zeit im heterocygoten Zustand bestehen.

5. Nach dem Hardy - Weinberg'schen Gesetz fallen bei rezessiven Merkmalen auf 1 Homocygote um so mehr Heterocygoten, je seltener die Homocygoten sind ( LOEFFLER, 1962 ).

Die Gefahr ist also nicht so sehr in der Möglichkeit zu sehen, daß in der ersten Generation geschädigte Individuen auftreten, sondern darin, daß sich der Pool der Heterocygoten durch die vorwiegend rezessiven Mutationen vergrößert. Je größer der Pool wird, um so mehr werden Homocygoten in späteren Generationen auftreten.

6. Weiter ist zu bedenken, daß die induzierten Mutationen zu einem hohen Prozentsatz bionegativ sind. Selbst wenn sich die eine oder andere Mutation als vorteilhaft erweisen sollte, das "gros" der Mutationen wird eine Herabsetzung der Vitalität und Lebenstüchtigkeit der Individuen zur Folge haben.

Der stete Zuwachs der induzierten Mutationen stört also das oben erwähnte, seit Jahrtausenden eingespielte Gleichgewicht von Mutationszugang und -abgang empfindlich. Vor allem deswegen, weil beim Menschen im Gegensatz zum Tier die Ausmerzung der Mutationen mit Selektionsnachteil durch die sozialen Unterstützungen so ungeheuer langsam vor sich geht. Für die Zukunft würde das bedeu-

ten, daß die Zahl der Unterstützungsbedürftigen, der Nichtfortpflanzungsfähigen und der Totgeburten immer mehr zunimmt.

## VII Strahlenschutz

"Die beste Prophylaxe bleibt die Kenntnis der möglichen Gefahren und die der Mittel ihrer Begegnung" ( ZUPPINGER ).

Eine Maßnahme zur Begrenzung der Strahlengefahr wäre die Festlegung einer höchstzulässigen Gesamtdosis bei röntgendiagnostischen Untersuchungen. Eine derartige Festlegung ist gesetzlich jedoch nicht vorhanden. Dagegen besteht eine Übereinkunft der Röntgenologen, daß bei einer röntgendiagnostischen Untersuchung die maximale Hautdosis 1oo R nicht überschreiten soll. Diese Übereinkunft ist indessen hinsichtlich ihrer Beachtung keinerlei Kontrolle unterworfen. Ob der Arzt seine Untersuchungen im Sinne des Strahlenschutzes durchführt, ist demnach ausschließlich von seiner Arbeitsmoral und seiner Erfahrung abhängig.

Hierzu meint allerdings FRITZ - NIGGLI, 1965, daß bei Kenntnis der neuesten experimentellen Daten eine maximal zulässige Dosis nicht angegeben werden kann, daß daher derartige Angaben irreführend sind und eine falsche Sicherheit vortäuschen.

### Praktischer Strahlenschutz in der Röntgendiagnostik

Ein bedeutender Prozentsatz der gesamten Strahlenbelastung der Bevölkerung fällt auf die Röntgendiagnostik. Zweckmäßigerweise wird man daher vor allem in der Röntgendiagnostik Mittel suchen, die Strahlenbelastung der Gonaden zu senken.

Die oben erwähnte Angabe von SEELENTAG, daß bei schlechter Untersuchungstechnik die Belastung von 2o % auf 9oo % der natürlichen Grundstrahlung ansteigen kann, macht deutlich, in welchem erheblichem Maße es auch mög-

lich sein muß, die Gonaden vor Strahleneinwirkung zu schützen.

In der Literatur sind wiederholt mannigfache Möglichkeiten dafür angegeben worden, so daß sie hier nur kurz zusammengefaßt werden sollen.

Eine wesentliche Senkung der Patienten- und Gonadendosis kann, was die Technik des Apparates und seiner Handhabung anbelangt, erreicht werden durch folgende Maßnahmen:

1. Einblendung des Nutzstrahlbündels auf das geringste mögliche Maß. Dadurch wird das direkt getroffene Volumen, somit auch das Streustrahlvolumen klein gehalten.

2. Zusätzliche Absorbtion der weichen Strahlen, z.B. durch Aluminiumfilter von 2 - 5 mm Schichtdicke. Neuere Untersuchungen zeigen, daß bei Anwendung von Eisenfiltern derselbe Effekt wie bei der von Aluminiumfiltern erreicht wird, aber sogar mit einer Dosiseinsparung von 4 - 14 % ( KOLZKAS, 1964 ). Auch als Schutzmaterial erweist sich Eisen günstig, da sein Streuanteil um den Faktor 4 niedriger ist als der von Blei ( BREITLING, 1961 ).

3. Rasterblenden

4. Bildverstärker. Als neuester Bildverstärker ist die Fernsehübertragung eingeführt worden. Dabei wird durch elektronische Bildverstärkung der Nutzeffekt der Strahlen vergrößert, so daß man an Dosis einsparen kann.

5. Empfindliche Filme

6. Erhöhung der KV - Zahl

7. Zentrierungskontrolle der Röhre

8. Häufiges Wechseln der Entwickler

9. Sensible Filmfolienkombination

1o. Hartstrahltechnik. Bei Anwendung der Hartstrahltechnik haben MUHR und STARKE, 196o gefunden, daß die Oberflächen- und Volumendosis verringert wird, die Gonadendosis aber um das Sechsfache ansteigt. KLOTZ und SEELENTAG, 1958 haben die Isodosen bestimmt und sind zu dem Ergebnis gekommen, daß die Gonadenbelastung im Primärstrahl und bis zu 1o cm daneben geringer ist, dagegen in größerer Entfernung wesentlich höher liegt als bei der Normaltechnik.

Insgesamt kann man wohl sagen, daß die niedrige Einstrahldosis durch die verstärkte und weiterreichende Streustrahlung zum großen Teil wieder ausgeglichen wird ( KLOTZ, 1958 ).

In New York konnte gezeigt werden, daß durch einfache Änderung an den Apparaten 5o % der Patientendosis, bei etwas gründlicheren Eingriffen bis zu 75 % eingespart werden konnte ( BLATZ, 1964 ).

11. Größtmöglicher Hautfocusabstand

Außerdem kann die Gonadendosis durch folgende Maßnahmen gesenkt werden:

12. Entsprechende Lagerung der Patienten

13. Abdeckung der Gonaden. Durch Verwendung von Bleischürzen bei den Patienten kann die Gonadendosis im Primärstrahl um 95 % gesenkt werden. Die Anwendung der Bleigummischürze ist auch in der zahnärztlichen Röntgenologie äußerst wichtig. Die Bleigummischürze schützt die Gonaden nicht nur vor der intracorporalen Streustrahlung, sondern

auch vor der extracorporal entstandenen.

Der direkte Schutz der Hoden ist viel einfacher durchzuführen als der der Ovarien. Von der Industrie werden Scrotal - Kapseln in vielerlei Ausführungen angeboten, die die Gonadendosis ebenfalls um etwa 95 % senken.

Der Ovarialschutz ist schon deswegen nicht so zufriedenstellend, weil er nicht allseitig erfolgen kann. Außerdem ist die Lage der Ovarien sehr unterschiedlich. Je jünger die Patientin, desto höher ist die Lage der Ovarien: bei Kleinkindern oberhalb des Darmbeinkammes, bei geschlechtsreifen Frauen zu 65 % in der Symphysenlinie. Der Ovarialschutz müßte demnach bei Kindern paralumbal und sacral sein, bei Frauen das kleine Becken und die Kreuzbeinregion erfassen ( PAPE und FOCHEM, 1962 ).

GEFFERTH, 1963 empfiehlt gegenüber den üblichen großen Bleiplatten zwei nierenförmige 1 mm dicke Bleischutzplatten. Bei deren Anwendung soll die Gonadendosis von 2o auf 5,7 mR gesenkt werden.

14. Strengere Indikation, vor allem bei Jugendlichen

15. Gute Adaption von 2o - 3o min.

16. Ersatz der Durchleuchtung, wenn möglich, durch Aufnahmen, da eine Durchleuchtung 5 - 16 x größere Dosen erfordert als eine Aufnahme ( ARDRAN, 1957 ).

17. Minimale Anzahl von Bildern

18. Geschulte Ausbildung des Personals. Nach PAPE und ZAKOVSKI, 196o ist die Strahlenbelastung durch geschulte Fachärzte wesentlich geringer als man allgemein angenommen hatte. SEELENTAG, 1958 hat nachgewiesen, daß unter gleichen technischen Bedingungen die Strahlenbelastung der Patienten beim Austausch des radiologisch fähigen

Personals gegen weniger fähiges anstieg. Die Forderung nach optimaler Ausbildung und laufender Weiterbildung des Personals wird allseits als durchaus gerechtfertigt angesehen.

## VIII Dosimetrie

Mit der Einführung der ionisierenden Strahlen in die Medizin entstand das Problem der Dosismessung. Solange eine einigermaßen exakte Dosisbestimmung nicht möglich war, konnte der Erfolg der Anwendung in der Therapie nur mehr oder weniger zufällig sein. In der Röntgendiagnostik war ohne Dosimetrie die Strahlenbelastung der Patienten statistisch nicht zu erfassen und somit auch keine Aussage darüber möglich, inwieweit sich diese Belastung schädlich auswirkt.

### 1. Verschiedene Methoden

Die Dosis - der vom Gewebe absorbierte Strahlenanteil - ist direkt gar nicht ( SCHINZ und WIDEROE, 1962 ) und exakt nur unter Laboratoriumsbedingungen festzustellen. Im Laufe der Jahre sind verschiedene Methoden entwickelt worden, die darauf beruhen, bestimmte Wirkungen der Strahlen quantitativ zu untersuchen und mit der wirksamen Strahlenmenge in Beziehung zu setzen.

Von den vielen Methoden, wie z.B. die

a. Chromoradiometrie ( Messung der Farbänderung eines bestimmten Stoffes unter Bestrahlung )

b. photochemische Methode ( Die Schwärzung einer photographischen Schicht wird mit einem Standardpräparat verglichen )

c. Ionometrie ( Änderung der Leitfähigkeit bestimmter Stoffe )

d. Calorimetrie ( Messung der Wärmeerzeugung ),

hat sich die ionometrische Methode als entscheidender Fortschritt erwiesen. Sie beruht auf dem Prinzip, daß

Luft, normalerweise ein Nichtleiter der Elektrizität, unter ionisierender Strahlung bei Anlegen eines elektrischen Feldes leitend wird.

2. Meßvorrichtung und Meßgröße

Diese Tatsache hat man sich bei den Ionisationskammern zunutze gemacht. Die Ionisationskammer besteht aus zwei voneinander isolierten Elektroden, zwischen denen eine bestimmte Spannung erzeugt wird, und aus einem definierten Luftvolumen. Man hat Luft deshalb als absorbierendes Medium gewählt, weil ihre effektive Ordnungszahl der des Weichteilgewebes des Menschen annähernd entspricht. Durch die Strahleneinwirkung entstehen Luftionen, die zu den entsprechenden Elektroden abwandern. Der durch den Stromfluß entstehende Spannungsabfall läßt sich am Elektrometer ablesen.

Für die Röntgendiagnostik hat sich gezeigt, daß sich die Messung der Flächeneinfallsdosis - R x $cm^2$ -, obwohl sie kein absolutes Maß für die totale vom Patienten absorbierte Energie ist, noch am besten zur Bestimmung der Strahlenbelastung des Patienten eignet.

Zum einen enthält die Flächeneinfallsdosis die Größe des durchstrahlten Volumens, das jener proportional ist, solange das Feld die Konturen des Patienten nicht überschreitet. Auch braucht der gemessene Wert nicht umgerechnet zu werden ( BUNDE, 1963 ).

Die Meßgröße R x $cm^2$ ist auch geeignet, den Forderungen in der Diagnostikdosimetrie nachzukommen, nämlich ( nach BUNDE):

1. Eignung zur Charakterisierung der individuellen Strahlenbelastung des einzelnen Patienten.
2. Lieferung geeigneter Unterlagen für die statistische Untersuchung der Wirkungen diagnostischer

Strahlenanwendung.

3. Minimaler zusätzlicher Arbeitsaufwand, da nur ein Meßwert registriert zu werden braucht.
4. Eignung zur Bewertung der Untersuchungstechnik.

Die Flächeneinfallsdosis wird mittels großflächiger Parallelplattenkammern, die senkrecht in den Strahlengang montiert werden, gemessen. Durch allseitiges Einblenden kann die gewünschte Feldfläche genau eingestellt werden. Selbst bei größter Blendenöffnung wird die Kammer nicht ganz ausgeleuchtet, so daß sich das Ionisationsvolumen proportional mit dem Querschnitt des durchtretenden Strahlenbündels ändern kann.

Eine Abhängigkeit von der Strahlenqualität tritt erst oberhalb 11o KV Erzeugerspannung auf. Vergleichsmessungen mit einem Eich - Dosimeter ergaben von 11o - 15o KV eine maximale Abweichung von 14 % ( ARDRAN und CROOKS, 1963 ).

Die Großflächenkammern genügen den wichtigsten Anforderungen der Röntgendiagnostik, nämlich:

1. robuster Bau, der dem Routinebetrieb gewachsen ist,
2. geringer Kostenaufwand,
3. geringe Behinderung des Untersuchers, da die Kammer unabhängig vom Patienten im Strahlengang angeordnet ist,
4. einfache Bedienung.

Schließlich kann die Messung an beliebiger Stelle zwischen Focus und Patient erfolgen, denn der Ionisationsstrom ist der Dosisleistung wie dem Bündelquerschnitt proportional. Bei größerem Abstand wird der Bündelquerschnitt in dem gleichen quadratischen Maße größer, in dem die Dosis abnimmt ( BUNDE und PYCHLAU, 1964 ).

3. Diagnostik - Dosimeter "Diamentor"

In Deutschland werden Geräte bevorzugt, die die Meßgröße in einem Zählwerk anzeigen, wie z.B. das Diagnostik - Dosimeter "Diamentor" der Firma Physikalisch - technische Werkstätten Dr. Pychlau K.G. Freiburg / Br.

Der Diamentor besteht aus einer Ionisationskammer, die an den Blendenkasten montiert wird. Sie ist durch ein Kabel mit dem in beliebiger Entfernung aufstellbaren Anzeigegerät verbunden. Der Zähler ist so geeicht, daß ein Sprung 1o R x $cm^2$ bedeutet.

Die Parallelplattenkammer hat einen Aluminiumgleichwert von weniger als o,5 mm, so daß nur eine ganz geringe Zusatzfilterung der durchtretenden Strahlen erfolgt.

Als wichtigsten Faktor und großen Vorteil des Diamentor haben PYCHLAU und BUNDE, 1964 die erzieherische Wirkung angegeben. Sie liegt vor allem darin, daß

> "... Kontrollmessungen jeder Art zwangsläufig die Aufmerksamkeit immer wieder auf das dahinterstehende Ziel lenken - in diesem Fall auf den Strahlenschutz des Patienten -, womit allein schon viel gewonnen wäre."

4. Erste Ergebnisse aus mit dem Diamentor erzielten Meßreihen

ARNAL und PYCHLAU, 1962 zeigten an Meßreihen, die im Hamburger St. Georg - Krankenhaus durchgeführt wurden, daß Untersuchungen mit pathologischem Befund höhere Flächeneinfallsdosen ( 15 - 25o % ) erforderten als solche ohne Befund.

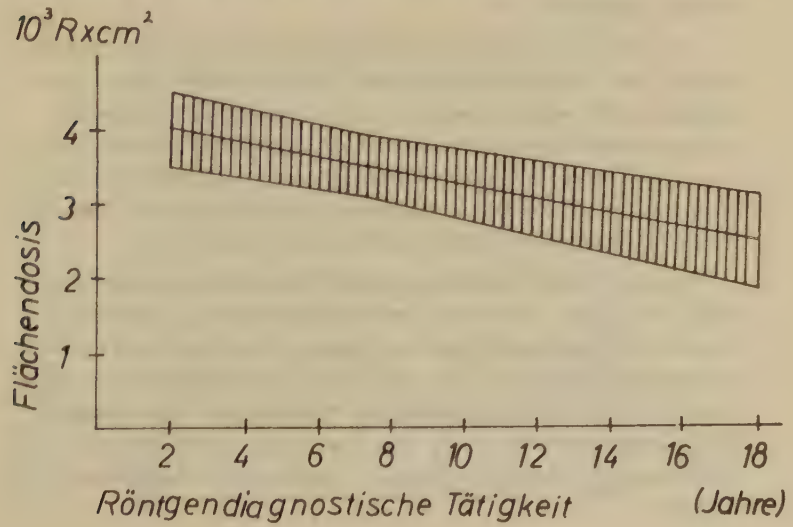
SCHOEN und GRIESSER, 1963 ermittelten aus Stichprobenmaterial von 34 Kliniken eine Erhöhung der Flächeneinfallsdosis von 1o - 15 % bei Untersuchungen mit patholo-

gischem Befund.

Das Bestehen einer allgemeinen Abhängigkeit der Belastung der Patienten vom Können des Untersuchers haben schon BARKE und GURSKY, 1967 festgestellt. ARNAL und PYCHLAU wie SCHOEN und GRIESSER haben auf die Beziehung der Flächeneinfallsdosis zu der unterschiedlichen Technik der Untersucher aufmerksam gemacht.

SCHOEN und GRIESSER haben insbesondere eine Beziehung zwischen Flächeneinfallsdosis und röntgendiagnostischer Ausbildungszeit des Untersuchers herausgestellt. Es hat sich dabei ergeben, daß die Flächeneinfallsdosis mit zunehmender Erfahrung geringer wird. Die ersten zwei Jahre in der röntgendiagnostischen Ausbildungszeit werden bei diesen Untersuchungen nicht berücksichtigt. Gleichzeitig wird aber betont, daß bei Anfängern sehr wahrscheinlich viel ausgeprägtere Beziehungen zwischen Flächeneinfallsdosis und Ausbildungszeit bestehen würden.

Beziehung zwischen Flächeneinfallsdosis und Berufsausbildung ( nach SCHOEN und GRIESSER, 1963 )



## IX Neue Untersuchungen an der Marburger Universitäts - Strahlenklinik

### 1. Allgemeine Einführung

Der Diagnostik - Dosimeter Diamentor ist in der Diagnostik - Abteilung der Marburger Universitäts - Strahlenklinik seit Januar 1963 in Gebrauch. Auf diesem Gerät wird nach jeder Untersuchung eines bestimmten Organs der Diamentor - Endwert in R x $cm^2$ abgelesen. Dieser Endwert setzt sich aus den Werten für Aufnahmen und Durchleuchtung zusammen, die einzeln nicht festgehalten werden. Die Erfassung des Endwertes ist jedoch deshalb ausreichend, weil hier nur die bei einer Untersuchung anfallende Gesamtbelastung interessiert. Der abgelesene Endwert wird in die Karteikarte des betreffenden Patienten eingetragen. Da sich aus dem Datum der Aufnahme auch die bisherige Ausbildungszeit des untersuchenden Arztes errechnen läßt, ist es damit möglich geworden, die durchschnittliche Belastung der Patienten durch die Röntgendiagnostik in Abhängigkeit von Ausbildung und Erfahrung des Untersuchers festzustellen.

Für die folgende Auswertung sind nur die bei Thorax-, Magen- und Colonuntersuchungen aufgetretenen Werte herausgegriffen worden, weil es sich bei diesen teils um überaus häufige und teils um solche Untersuchungen handelt, bei denen die Gonadenbelastung im Einzelfalle am größten ist, weil sich also aus ihnen die größte genetische Belastung und damit Gefährdung ergibt.

Es sind dabei die erzielten Untersuchungswerte von fünf im ersten Jahr ihrer Röntgenausbildung stehenden Ärzten der Marburger Universitäts - Strahlenklinik berücksichtigt worden. Aus den nachstehenden Tabellen ergeben sich die von den Ärzten in jedem Monat erreichten Durchschnittswerte sowie die jeweiligen höchsten und niedrigsten Werte für Thorax-, Magen- und Colonuntersuchungen.

THORAX
( 1 = $1o^3$ R x $cm^2$ )

| Monat | Arzt A | | | Arzt B | | | Arzt C | | | Arzt D | | | Arzt E | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | min. | max. | D* | min. | max. | D | min. | max. | D | min. | max. | D | min. | max. | D |
| 1 | o,1o | 1,17 | o,48 | o,34 | 1,19 | o,76 | | | o,55 | 1,2o | 1,82 | 1,51 | o,85 | 2,34 | 1,48 |
| 2 | o,36 | o,91 | o,56 | o,1o | o,37 | o,21 | o,17 | 1,73 | o,77 | o,5o | 4,16 | 2,2o | o,67 | 2,16 | 1,37 |
| 3 | o,24 | o,91 | o,64 | o,24 | 1,57 | o,78 | o,12 | o,89 | o,33 | o,23 | 4,81 | 2,oo | o,44 | 4,1o | 1,45 |
| 4 | o,28 | o,36 | o,31 | o,26 | 2,66 | 1,o5 | o,86 | 1,95 | 1,45 | o,21 | 3,25 | 1,28 | o,66 | 2,32 | 1,17 |
| 5 | o,14 | 1,64 | o,51 | o,31 | 5,71 | 1,3o | o,46 | 1,84 | 1,13 | o,61 | 3,78 | 1,58 | o,56 | 2,24 | 1,2o |
| 6 | o,22 | o,76 | o,45 | o,56 | 2,35 | 1,33 | | | | o,13 | 2,84 | 1,o1 | o,12 | 1,56 | o,63 |
| 7 | | | o,29 | o,32 | 3,2o | 1,o6 | | | | o,2o | 2,37 | 1,o4 | o,36 | 1,o9 | o,71 |
| 8 | o,3o | 2,45 | o,91 | o,11 | 2,7o | 1,18 | | | | o,2o | 1,23 | o,63 | | | |
| 9 | o,2o | 2,23 | o,72 | o,39 | 2,8o | 1,19 | | | | o,1o | o,47 | o,29 | | | |
| 1o | o,38 | 1,63 | o,8o | o,18 | 5,oo | 1,16 | | | | o,12 | 1,26 | o,47 | | | |
| 11 | o,16 | 1,36 | o,48 | o,5o | 3,oo | 1,oo | | | | | | | | | |
| 12 | o,12 | 1,45 | o,62 | | | | | | | | | | | | |

*) D = Durchschnittswert

**MAGEN**

( 1 = $1o^3$ R x $cm^2$ )

| Monat | Arzt A | | | Arzt B | | | Arzt C | | | Arzt D | | | Arzt E | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | min. | max. | D*) | min. | max. | D | min. | max. | D | min. | max. | D | min. | max. | D |
| 1 | 1,27 | 5,6o | 3,o9 | | | | 1,o1 | 4,65 | 3,11 | | | | 3,24 | 6,31 | 4,77 |
| 2 | 2,33 | 3,92 | 2,93 | 2,o6 | 5,18 | 3,3o | 3,79 | 5,o3 | 4,15 | 3,75 | 15,99 | 7,66 | 3,o4 | 13,9o | 7,43 |
| 3 | 1,46 | 9,26 | 3,83 | 2,47 | 11,9o | 6,46 | 2,3o | 3,92 | 3,38 | 1,7o | 2o,63 | 7,77 | 3,29 | 17,92 | 8,27 |
| 4 | 1,65 | 8,56 | 3,79 | 2,74 | 18,59 | 7,9o | 5,66 | 8,45 | 7,18 | 2,34 | 15,98 | 7,63 | 2,9o | 14,62 | 7,86 |
| 5 | 1,52 | 6,22 | 3,5o | 5,21 | 23,41 | 18,1o | 9,27 | 9,47 | 9,37 | 2,83 | 17,19 | 6,94 | 4,5o | 12,6o | 6,89 |
| 6 | 1,61 | 6,42 | 3,5o | 4,65 | 2o,o9 | 9,37 | | | | 1,47 | 12,57 | 5,94 | 3,25 | 8,68 | 5,48 |
| 7 | 1,61 | 8,57 | 5,69 | 3,5o | 19,56 | 1o,37 | | | | 2,25 | 11,36 | 5,44 | 4,33 | 8,1o | 5,81 |
| 8 | 2,65 | 15,74 | 5,o3 | 2,74 | 17,12 | 7,27 | | | | 2,3o | 9,o3 | 5,1o | | | |
| 9 | 1,74 | 9,43 | 4,72 | 3,56 | 17,86 | 7,83 | | | | 1,89 | 6,7o | 4,54 | | | |
| 1o | 2,18 | 9,38 | 3,96 | 5,1o | 1o,88 | 7,61 | | | | 4,o4 | 4,95 | 4,55 | | | |
| 11 | 1,1o | 5,23 | 3,o4 | 3,12 | 13,69 | 7,3o | | | | | | | | | |
| 12 | 2,66 | 8,78 | 4,42 | 3,6o | 11,32 | 6,21 | | | | | | | | | |

*) D = Durchschnittswert

COLON

( 1 = $1o^3$ R x $cm^2$ )

| Monat | Arzt A | | | Arzt B | | | Arzt C | | | Arzt D | | | Arzt E | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | min. | max. | D* | min. | max. | D | min. | max. | D | min. | max. | D | min. | max. | D |
| 1 | 3,09 | 6,79 | 5,43 | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | 4,46 | | | | 5,o | 7,46 | 6,26 | | | | 5,83 | 23,91 | 14,83 |
| 3 | 3,85 | 7,38 | 5,34 | 5,56 | 8,81 | 7,44 | | | 6,17 | | | 16,5o | 6,8o | 15,7o | 11,45 |
| 4 | 3,o8 | 9,14 | 5,76 | 7,74 | 1o,13 | 8,97 | 9,6o | 15,61 | 12,6o | 17,86 | 19,1o | 18,98 | | | 9,98 |
| 5 | 3,o1 | 6,38 | 5,o5 | 17,76 | 25,1o | 2o,32 | | | 29,25 | 8,7o | 11,77 | 1o,26 | 5,4o | 15,7o | 9,37 |
| 6 | | | 5,39 | 11,92 | 25,81 | 14,99 | | | | 6,oo | 12,51 | 9,73 | | | |
| 7 | 6,34 | 7,59 | 6,96 | 9,72 | 14,43 | 12,o7 | | | | 4,86 | 16,28 | 1o,36 | | | |
| 8 | 5,62 | 11,9o | 8,65 | 4,4o | 2o,o4 | 12,76 | | | | | | | | | |
| 9 | 4,83 | 2o,75 | 9,44 | 6,9o | 17,55 | 11,47 | | | | 7,1o | 7,29 | 7,18 | | | |
| 1o | 5,34 | 12,1o | 8,76 | 6,o6 | 9,57 | 7,72 | | | | | | | | | |
| 11 | 4,34 | 7,53 | 5,98 | 4,9o | 6,o5 | 5,46 | | | | | | | | | |
| 12 | 5,o4 | 9,o5 | 6,82 | | | | | | | | | | | | |

*) D = Durchschnittswert

Vergleichsweise seien noch einige von SCHOEN und GRIESSER, 1963 ermittelte Werte angeführt, welche die Ergebnisse aus 34 Instituten zusammenfassen.

| Untersuchungsart | D* | Schwankungsbreite |
|---|---|---|
| Lunge und Herz | 393 | ± 93 |
| Thorax, Magen, Duodenum, Dünndarm | 6100 | ± 673 |
| Colon | 7282 | ± 1028 |

*) D = Durchschnittswert in R x $cm^2$

Nach BARKE und GURSKY, 1967 liegt an der Leipziger Universitäts - Strahlenklinik die Flächeneinfallsdosis bei Magenuntersuchungen am häufigsten zwischen 2 000 und 3 000 R x $cm^2$, bei Colonuntersuchungen zwischen 4 000 und 5 000 R x $cm^2$.

Diese Werte geben zwar einen Hinweis auf die absolute Belastung der Patienten, lassen aber noch keine Schlüsse zu auf deren Abhängigkeit von der Fähigkeit des Untersuchers.

Die nachfolgende Auswertung des Marburger Materials geht für jeden Arzt von je einer Kurve für Thorax-, Magen- und Colonuntersuchungen aus, die sich aus den erreichten Durchschnittswerten zusammensetzt. Dabei enthält die Abszisse fortlaufend die Ausbildungsmonate, die Ordinate die jeweils darauf entfallenden Belastungswerte. Außerdem faßt eine Gesamtkurve für jede Untersuchungsart die Ergebnisse aller fünf Ärzte zusammen. Hierbei sind allerdings die Werte von zwei Ärzten, die diese von einem bestimmten Zeitpunkt an unter Verwendung der Fernsehtechnik erzielt haben, bei der Bildung der Gesamtkurven nicht berücksichtigt, sondern gesondert zur Darstellung gekom-

men. Aus dieser besonderen Darstellung wird noch eine speziell auf die Verwendung der Fernsehtechnik bezügliche Erkenntnis gezogen. Den Abschluß bildet ein Vergleich zwischen den Gesamtkurven und den von Fachärzten durchschnittlich erreichten Werten.

2. Das Problem der Abhängigkeit der Belastung von Ausbildung und Erfahrung des Untersuchers

Es wird zunächst der Verlauf der einzelnen Kurven kurz besprochen. Dabei werden die fünf Ärzte mit A, B, C, D und E bezeichnet. Sodann werden die hieraus abzuleitenden Schlußfolgerungen in Bezug auf das Abhängigkeitsverhältnis von Belastung und Ausbildung gezogen. Schließlich werden die sich daraus unter dem Gesichtspunkt des Strahlenschutzes ergebenden Forderungen an die künftige Ausbildung der Ärzte aufgezeigt.

a. Der Verlauf der Kurven

aa. Arzt A ( Anlage 1 )

Die Kurven verlaufen insgesamt bei verhältnismäßig niedrigen Werten. Der Ausgangswert liegt niedrig und bleibt während der ersten Ausbildungsmonate relativ konstant. Erst vom 6. Monat an zeigt sich ein sprunghafter Anstieg. Nur bei der Thorax - Kurve setzt der Anstieg erst im 7. Monat ein, wie überhaupt die Thorax - Kurven weniger ausgeprägt sind. Der Anstieg führt bei allen drei Kurven zu einem Gipfelpunkt, der im 7. bzw. 8. und 9. Monat erreicht wird. Im Anschluß daran fallen die Kurven wieder ab, bis im 11. Monat die Ausgangswerte etwa wieder erreicht werden.

bb. Arzt B ( Anlage 2 )

Hier setzen die Magen- und die Colon - Kurve erst jeweils einen Monat später ein. Nach dem auch hier günstigen Ausgangswert beginnen die Kurven von Monat zu Monat

rapider anzusteigen und erreichen im 5. Monat ihren Höhepunkt. Der sich anschließende Abstieg zieht sich bis zum 11. Monat hin, wobei die Colon - Kurve den Ausgangswert sogar unterschreitet, während die anderen Kurven ihn nicht ganz wieder erreichen. Die Thorax - Kurve verläuft insofern abweichend, als der Anstieg nur schwach angedeutet ist und im 1o. Monat ein zweiter Höhepunkt auftritt. Doch ist auch hier im 11. Monat der Ausgangswert nahezu wieder erreicht.

cc. Arzt C ( Anlage 3 )

Die Kurven brechen bei Beginn des 6. Monats ab, weil C zu diesem Zeitpunkt die Röntgenabteilung verlassen hat. Thorax- und Magen - Kurve setzen gleichzeitig, die Colon-Kurve einen Monat später ein. Alle Kurven beginnen bei niedrigen Werten, um vom 3. Monat ab sehr steil anzusteigen. Im Zeitpunkt der Unterbrechung, also im 6. Monat, sind von Magen- und Colon - Kurve sehr hohe Werte erreicht, während die Thorax - Kurve bereits einen beginnenden Abstieg erkennen läßt.

dd. Arzt D ( Anlage 4 )

Auch hier ist der Kurveneinsatz jeweils um einen Monat verschoben. Das hat dazu geführt, daß die Anfangswerte von Magen- und Colon - Kurve verhältnismäßig höher liegen, da sie zeitlich schon in die Anstiegsphase fallen. Magen- und Colon - Kurve finden ihren Gipfelpunkt im 4. , die Thorax - Kurve schon im 2. Monat. Der kontinuierliche Abstieg erreicht schon im 9. Monat die niedrigsten Werte, die weit unter dem Ausgangswert liegen. Ab 6. Monat sind die Kurven doppelt gezogen, um zu kennzeichnen, daß von diesem Zeitpunkt ab die Fernsehtechnik angewandt worden ist. Im vorliegenden Zusammenhang hat dies jedoch noch keine Bedeutung, da durch die Verwendung einer bestimmten Technik zwar die absolut erreichten Werte beeinflußt werden können, nicht aber Ausbildungsstand und Erfahrung des Arztes.

ee. Arzt E ( Anlage 5 )

Die Colon - Kurve setzt einen Monat später ein und hat zeitlich den hypothetischen Anstieg schon überschritten. Der Abfall setzt unmittelbar ein und schließt mit dem 5. Monat ab. Auch die Thorax - Kurve fällt, von einem kleinen Anstieg vom 2. zum 3. Monat abgesehen, kontinuierlich ab und erreicht im 7. Monat den niedrigsten Wert. Die Magen - Kurve zeigt einen stärkeren Anstieg bis zum Höhepunkt im 3. Monat und sinkt dann bis zum 6. Monat wieder ab.

b. Analyse der Kurven in Bezug auf die Abhängigkeit der Belastung von Ausbildung und Erfahrung

aa. Vergleicht man die Kurven aller fünf Ärzte, so zeigt sich, daß sie alle einen ähnlichen Verlauf nehmen. Sie beginnen durchschnittlich bei günstigen Anfangswerten, um nach einer kurzen Zeit verhältnismäßig steil bis zu einem Höhepunkt anzusteigen. Hieran schließt sich ein allmählicher Abstieg, der die Ausgangswerte etwa wieder erreicht. Dieser Verlauf kommt in den drei gebildeten Gesamtkurven ( Anlage 6 ), die die Werte aller Ärzte zusammenfassen, deutlich zum Ausdruck. Der die Fernsehwerte der Ärzte D und E darstellende doppelte Verlauf kommt hier noch nicht in Betracht. Die Gesamtkurven lassen erkennen, daß die höchsten Belastungswerte durchschnittlich im 5. Ausbildungsmonat erzielt werden. Das gilt für alle drei Untersuchungsarten, wenn man von dem atypischen zweiten Höhepunkt der Thorax - Kurve im 1o. Monat absieht. Der Zeitpunkt, zu dem die Ausgangswerte im Durchschnitt etwa wieder erreicht werden, liegt bei allen Kurven übereinstimmend im 11. Monat.

bb. Um die Kurven voll auswerten zu können, muß zunächst der äußere Gang der Ausbildung kurz geschildert werden. Im ersten Monat der Ausbildung nimmt der Arzt selbst noch keine Untersuchungen vor. Er wird theoretisch in die

Röntgentechnik eingeführt und mit den Geräten und deren Handhabung vertraut gemacht. Erst im zweiten Monat beginnt er mit den eigenen Untersuchungen, wobei meist zuerst nur die einfacheren Thoraxuntersuchungen durchgeführt werden, während mit den schwierigeren Magen- und Colonuntersuchungen erst jeweils einen Monat später begonnen wird. In den ersten Monaten seiner Röntgentätigkeit steht der Arzt unter der umfassenden Anleitung, Überwachung und Kontrolle eines erfahrenen Röntgenarztes, deren Intensität jedoch fortschreitend geringer wird, bis der Arzt selbständig arbeitet.

cc. Es ist nun darauf einzugehen, inwieweit dieser äußere Ausbildungsgang seinen Niederschlag in den Belastungskurven findet. Da der Arzt im ersten Ausbildungsmonat noch keine Untersuchungen durchführt, erscheint dieser Monat in den Kurven nicht. Der erste Monat der Kurvenbilder ist also der zweite Monat der Ausbildung. Daß Magen- und Colon - Kurven häufig erst jeweils später beginnen, erklärt sich aus dem zeitlich verschobenen Beginn mit diesen Untersuchungsarten. Die verhältnismäßig niedrigen und daher günstigen Werte der ersten Monate sind zum Teil auf die intensive Kontrolle und die Hilfestellung durch den erfahrenen Facharzt zurückzuführen. Die ständig stärker werdende Abnahme dieser Überwachung wirkt sich dann dahin aus, daß die erzielten Werte in steigendem Maße anwachsen. Dies kommt in dem starken Anstieg der Kurven in der Zeit vom 2. bis zum 5. Monat augenfällig zum Ausdruck. Dagegen findet der sich anschließende allmähliche Abstieg der Kurven durch den äußeren Ausbildungsgang keine Erklärung.

dd. Über die Erkenntnis dieser Korrelation der Kurven zum äußeren Ausbildungsgang hinaus lassen sich aus ihnen jedoch auch Schlüsse auf den inneren Ausbildungs- und Erfahrungsstand ziehen.

So beruhen die günstigen Werte der ersten Zeit zum

wesentlichen Teil auch auf der anfänglichen Oberflächlichkeit des Arztes. Diese ergibt sich aus zwei Faktoren. Der Arzt ist noch ungeübt, einen pathologischen Befund festzustellen und zu qualifizieren. Er wird diesen daher oft nicht im nötigen Ausmaß erkennen und deshalb nur wenige Aufnahmen bzw. kürzere Durchleuchtungszeit zur vermeintlichen Klärung benötigen. Zum anderen nimmt ihm der beaufsichtigende Röntgenarzt durch seine Hilfeleistung die Verantwortung zum größten Teil noch ab, woraus sich ebenfalls ein weniger intensiver Einsatz des untersuchenden Arztes ergibt.

Auch der folgende ständig wachsende Anstieg der Werte ist durch zwei innere Vorgänge mitbedingt. Die zunehmende Übung und Kritikfähigkeit des Arztes versetzt ihn in die Lage, pathologische Befunde in steigendem Maße zu erkennen und umfassender zu qualifizieren. Dazu benötigt er naturgemäß mehr Aufnahmen und längere Durchleuchtungszeiten. Mit Abnahme der Kontrolle durch den Röntgenarzt steigt auch das Maß der eigenen Verantwortung. Damit wächst zugleich die kritische Einstellung seinen Ergebnissen gegenüber, wodurch er auch unsicherer wird. Auch dies trägt zu steigenden Belastungswerten bei.

Der dem Gipfelpunkt folgende allmähliche Abstieg findet seine Erklärung ausschließlich in der wachsenden Erfahrung des Arztes. Sie besteht in dem steigenden fachlichen Können, das nun eine schnellere Deutung des pathologischen Befundes gestattet, und in dem wachsenden Vertrauen, das der Arzt deshalb in seine Ergebnisse setzt.

Es läßt sich sonach feststellen, daß die beginnende Übung des Arztes, pathologische Befunde überhaupt zu erkennen und zu qualifizieren, und seine durch die zunehmende Verantwortung wachsende Unsicherheit im allgemeinen im 5. Monat der Röntgentätigkeit zu den höchsten Belastungen führen. Durch die steigende Erfahrung bedingt, werden dann regelmäßig im 11. Monat wieder so günstige

Werte erzielt, wie sie zu Anfang durch Oberflächlichkeit des Arztes und Hilfe des Röntgenarztes erreicht wurden.

ee. Zur Veranschaulichung des Gesagten soll der zunehmende Ausbildungs- und Erfahrungsstand jedes Arztes anhand seiner Kurven aufgezeigt werden.

Bei Arzt A dauert die Phase der "Oberflächlichkeit" verhältnismäßig lange und ist wegen der absolut recht niedrigen Werte auch besonders betont. Die Phase der kritischen Einstellung beginnt erst im 6. Monat und ergibt zusammen mit der wachsenden Unsicherheit bis zum 7. bzw. 8. und 9. Monat steigende Werte. Der durch Erfahrungszunahme verursachte Abfall erfolgt bis zum 11. Monat, zu welchem Zeitpunkt sich die Erfahrung gefestigt hat.

Bei Arzt B setzt die kritische Phase schon sehr früh ein, wobei der sehr steile Anstieg und die erreichten hohen Werte auf das rasche Wachsen und das erreichte hohe Maß von Kritikfähigkeit und Verantwortungsbewußtsein schließen lassen. Auch hier hat aber die Erfahrung im 11. Monat zur Erreichung günstiger Werte geführt.

Auch bei Arzt C führt nach der drei Monate dauernden Phase des oberflächlichen Arbeitens die sich dann rasch entwickelnde Selbstkritik und das Verantwortungsgefühl bis zum Beginn des 6. Monats zu überaus hohen Werten. C bricht also seine Ausbildung zu einem Zeitpunkt ab, in dem die entwickelte Kritikfähigkeit und das Verantwortungsbewußtsein noch nicht durch eine entsprechende Erfahrung ergänzt werden, die die Werte wieder herabzudrükken geeignet wäre.

Arzt D hat mit den Magen- und Colonuntersuchungen erst jeweils einen Monat später begonnen. Die bei den Thoraxuntersuchungen bereits erworbene Kritikfähigkeit setzt er zugunsten der später begonnenen Magen- und in verstärktem Maße der Colonuntersuchungen ein. Dieser Umstand läßt sich daraus ersehen, daß die letzteren Kurven

schon bei hohen Werten einsetzen, also schon auf einem hypothetischen Anstieg liegend zu denken sind. Die wachsende Erfahrung führt dann schnell zu ständig sinkenden Werten.

Dieselbe Erscheinung des späteren Beginns mit den Colonuntersuchungen führt bei Arzt E dazu, daß die Colonkurve bei ihrem Einsatz den hypothetischen Anstieg bereits überschritten hat. Hier hat E eine durch Thorax- und Magenuntersuchungen derart entwickelte Übung und Erfahrung gewonnen, daß trotz ebenfalls entwickelten Kritikvermögens ( Anstieg der Magen - Kurve ! ) die Colon - Kurve von Anfang an absinkt. Die Erfahrung hat hier also die Unsicherheit bereits aufgefangen.

c. Die sich unter dem Gesichtspunkt des Strahlenschutzes ergebende Forderung an die künftige Röntgenausbildung der Ärzte

Da, wie oben unter VI gezeigt wurde, jede unnötige Strahlenbelastung unbedingt vermieden werden sollte, muß auch die Röntgenausbildung sich zum Ziel setzen, daß der Arzt bei Beendigung seiner Ausbildung in der Lage ist, bei einer Röntgenuntersuchung den Patienten so wenig wie möglich zu belasten. Die vorausgehende Analyse hat gezeigt, daß dies durchschnittlich erst im 11. Monat der Röntgentätigkeit erreicht wird. Da den eigenhändigen Röntgenuntersuchungen ein Monat der theoretischen und technischen Einführung vorausgeht, ergibt sich demnach die Forderung, die Ausbildung in der Röntgendiagnostik insgesamt über mindestens ein Jahr zu erstrecken.

3. Der Einfluß der Verwendung der Fernsehübertragung auf die erreichten Werte

a. Seit August 1965 wird in der Marburger Universitäts - Strahlenklinik unter Verwendung der Fernsehübertragungs-

technik, wie sie oben ( VII 4. ) beschrieben worden ist, gearbeitet. In diese Zeit fallen nur Untersuchungen der Ärzte D und E. In deren Einzelkurven ( Anlagen 4 und 5 ) sind die mit dieser Technik erzielten Werte durch doppelt gezogenen Verlauf der Kurve gekennzeichnet, ebenso in den drei Gesamtkurven der Anlage 6. Wo bei diesen also jeweils ein doppelt gezogener Verlauf von dem einfachen abzweigt, zeigt er die von Arzt D bzw. E unter Verwendung der Fernsehtechnik erreichten Werte, während von da ab der einfache Verlauf nur noch die Durchschnittswerte der übrigen Ärzte wiedergibt.

b. Vergleicht man die doppelt gezogenen Kurven mit dem zeitlich jeweils entsprechenden Verlauf der einfachen, so zeigt sich, daß nach kurzer Zeit die doppelt gezogenen in allen Fällen viel rascher absinken, also eher zu günstigen Werten führen. Dies läßt folgende Deutung zu: Die Zeit, zu der der Abstieg der Fernseh - Kurve im Verhältnis zu dem der anderen noch nicht besonders auffallend ist, stellt die Zeit der Umstellung des Arztes auf die neue Technik dar. Durch die Umstellung wird das raschere Erreichen günstigerer Werte noch beeinträchtigt. Der nach der Umstellungszeit erfolgende steilere Abstieg läßt sich nur dadurch erklären, daß die Fernsehübertragungstechnik die gleiche Auswertung der Bilder bei geringerer Belastung des Patienten gestattet.

c. Die hier vorgenommenen Untersuchungen an der Marburger Universitäts - Strahlenklinik bestätigen damit die schon anderweitig gemachte Beobachtung, daß die Fernsehübertragungstechnik geeignet ist, die bei Röntgenuntersuchungen anfallende Strahlenbelastung zu senken. Unter dem Gesichtspunkt des Strahlenschutzes ist die Verwendung dieser Technik daher zu empfehlen.

4. Vergleich der von Fachärzten durchschnittlich erreichten Werte mit denen der in der Ausbildung befindlichen Ärzte

a. In der Anlage 7 sind die Thorax-, Magen- und Colon - Kurven zusammen mit den von Fachärzten jeweils erzielten Durchschnittswerten zur Darstellung gekommen. Hierbei sind die von drei während der gleichen Zeit in der Marburger Universitäts - Strahlenklinik arbeitenden Fachärzten erreichten Werte in der Weise berücksichtigt worden, daß aus ihnen ein einziger Durchschnittswert gebildet worden ist. Dieser Durchschnittswert kennzeichnet also das Belastungsniveau, das von Fachärzten unter den Bedingungen der Marburger Strahlenklinik dauernd erzielt wird. Aus diesem Grunde bildet die Kurve eine parallel zur Abszisse verlaufende Gerade ( gestrichelt ). Die durch Verwendung der Fernsehtechnik erreichten Werte sind bei den Kurven der Ärzte wie der Fachärzte nicht berücksichtigt worden, um eine einheitliche Vergleichsgrundlage zu schaffen.

Bei der Wertung des Durchschnittsniveaus der Fachärzte ist allerdings zu berücksichtigen, daß den Fachärzten in der Regel nur die besonders schwierigen Untersuchungen obliegen, die naturgemäß eine erhöhte Strahlenbelastung bedingen.

b. Der Vergleich der von den Ärzten A, B, C, D und E erzielten Colon - Gesamtkurve mit dem Facharzt - Niveau ergibt, daß sie dieses Niveau mit einiger Sicherheit erst im 9. Monat erreicht und im 1o. Monat deutlich unterschreitet. Von der Magen - Kurve wird das entsprechende Facharzt - Niveau im 1o. Monat erreicht. Der Vergleich der Thorax - Kurve mit dem Facharzt - Niveau läßt keine deutliche Aussage zu, da des geringeren Schwierigkeitsgrades dieser Untersuchungen wegen die Schwankungsbreite im Verhältnis zu den anderen Kurven sowieso kleiner ist.

Außerdem erscheint diese Kurve in ihrer Eigenschaft als Gesamt - Mittelwertkurve in Verbindung mit den absolut niedrigen Werten als besonders nivelliert.

Im Durchschnitt läßt sich sagen, daß die Ärzte etwa im 1o. Monat ihrer Röntgentätigkeit das Niveau der Fachärzte erreichen und im folgenden unterschreiten.

c. Da, wie gezeigt, das Niveau der Fachärzte auf der Durchführung von regelmäßig besonders schwierigen Untersuchungen beruht, ist jedoch das sichere Erreichen dieses Durchschnittswertes noch nicht das erstrebenswerte Ziel der Ausbildung. Denn da die auszubildenden Ärzte Untersuchungen aller Schwierigkeitsgrade, von denen die schwersten ihnen jedoch gerade durch die Fachärzte abgenommen werden, vornehmen, müßte der von ihnen im Durchschnitt erreichte Wert in dem Verhältnis unter dem Facharzt - Durchschnitt liegen, in dem ihre Untersuchungen durchschnittlich weniger schwierig sind, wenn sie die gleiche fachliche Leistung wie die Fachärzte erbringen sollten.

Dies kann man nun zwar von Ärzten, die die Röntgendiagnostik nicht als Facharzt betreiben wollen, nicht fordern. Gleichwohl aber muß sich ihre Ausbildung zum Ziel setzen, daß sie bei durchschnittlich einfacheren Untersuchungen diejenigen Werte unterschreiten, die die Fachärzte bei durchweg besonders schwierigen Untersuchungen erzielen. Das aber ist durchschnittlich im 1o. Monat der Röntgentätigkeit noch nicht der Fall. Auch aus dieser Erwägung heraus rechtfertigt es sich, die Ausbildungszeit länger als bis zum 1o. Monat der Röntgentätigkeit zu erstrecken. Diese Überlegung unterstützt daher die schon oben aufgestellte Forderung, die Ausbildung mindestens ein Jahr einschließlich des theoretischen Einführungsmonats dauern zu lassen.

## X Diskussion

a. Die Ausbildung zum Facharzt der Inneren Medizin umfaßt nach der Facharztordnung eine in aller Regel nicht mehr als sechs Monate dauernde Tätigkeit in der Röntgendiagnostik.

b. Die vorliegende Untersuchung hat dagegen gezeigt, daß allein unter dem Gesichtspunkt des Strahlenschutzes schon eine Ausbildungszeit in der Röntgendiagnostik von mindestens einem Jahr zu fordern ist. Diese Forderung ergab sich sowohl aus der Tatsache, daß erst nach einem Jahr vertretbare Werte erreicht werden, als auch aus einem Vergleich mit den Durchschnittswerten erfahrener Fachärzte.

c. Wie die Gesamtkurven der Anlage 6 ergeben, erreichen die Ärzte gerade im 5. Monat ihrer Röntgentätigkeit, also im 6. Monat der Ausbildung die absolut höchsten Belastungswerte. Die heutige Praxis, die Ausbildung nach einem halben Jahr zu beenden, führt also dazu, daß der Arzt die Ausbildung gerade zu dem Zeitpunkt abschließt, zu dem seine durch Kritikfähigkeit und Verantwortungsbewußtsein hervorgerufene Unsicherheit ihn die höchsten Werte erreichen läßt, da sie noch nicht durch eine gefestigte Erfahrung ausgeglichen wird. Mit diesem mangelnden Erfahrungsstand wird der Arzt nach heutiger Ausbildungspraxis berechtigt, Patienten auf eigene Verantwortung röntgendiagnostisch zu untersuchen.

Dieser Sachverhalt wird durch die Kurven des Arztes C ( Anlage 3 ) besonders anschaulich verdeutlicht. C bricht seine Röntgenausbildung nach dem 6. Monat ab. Seine Kurven haben gerade zu diesem Zeitpunkt überaus hohe Werte erreicht.

Es zeigt sich also auch aus diesem Mißstand der heutigen Ausbildungspraxis, daß eine längere Ausbildungszeit gerechtfertigt ist.

Die Bedeutung dieser Forderung für die Gesamtbelastung der Bevölkerung wird noch dadurch unterstrichen, daß keineswegs die Mehrzahl aller Röntgenleistungen in der Bundesrepublik von Fachärzten durchgeführt werden, sondern lediglich 5 - 2o % ( SCHOEN und GRIESSER, 1963 ).

## XI Zusammenfassung

Es ist seit 1927 bekannt, daß ionisierende Strahlen Mutationen des Erbgutes auslösen können. Durch Pflanzen- und Tierversuche hat man dieses Phänomen näher erforscht. Mutationen des Erbgutes können, ohne daß ein Schwellenwert erreicht zu werden braucht, schon bei kleinsten Strahlenmengen auftreten. Sie brauchen nicht in der oder den ersten Generationen phänotypisch in Erscheinung zu treten, sind also hauptsächlich rezessiv. Auch sind sie durchweg bionegativ. Bei Menschen hat man ebenfalls die schädigende Wirkung von ionisierenden Strahlen nachweisen können. So ist die Mißbildungsrate der Nachkommenschaft der atombombengeschädigten Bevölkerung von Hiroshima und Nagasaki wie auch der Nachkommenschaft von Röntgenologen auffallend.

Die natürliche Strahleneinwirkung auf den Menschen, die sich aus der kosmischen, der terrestischen und der Körpereigenstrahlung zusammensetzt, belastet die Gonaden mit etwa o,1 R pro Jahr. Die hierdurch verursachte Mutationsrate liegt unterhalb der Toleranzgrenze. Durch die Strahlenanwendung in Medizin und Technik wird aber die Gonadenbelastung durchschnittlich erhöht. Damit wird die Gefahr des vermehrten Auftretens sowie des Vorkommens neuer Mutationen heraufbeschworen.

Unter den künstlich geschaffenen Strahlenquellen tritt die Röntgendiagnostik mit den höchsten Belastungswerten hervor. Auf diesem Gebiet lassen sich jedoch die Belastungswerte durch geeignete Schutzmaßnahmen in hohem Maße herabsenken. Dies läßt sich daraus ersehen, daß nach SEELENTAG die Belastung bei guter Untersuchungstechnik 2o %, bei schlechter dagegen 9oo % der natürlichen Grundstrahlung ausmacht. Die herkömmlichen Schutzvorrichtungen sind in neuerer Zeit durch die Einführung der Hartstrahl- und der Fernsehübertragungstechnik ergänzt worden. Auch

ist die Strahlenbelastung von dem fachlichen Können des Untersuchers abhängig. Mit der Einführung des Diagnostik - Dosimeters "Diamentor" ist die Möglichkeit gegeben, dieses Abhängigkeitsverhältnis näher zu erforschen.

Das ist hier anhand von aus den Belastungswerten des Diamentors gewonnenen Kurven durchgeführt worden. Die Kurven setzen sich aus monatlichen Mittelwerten zusammen, die von fünf im ersten Ausbildungsjahr stehenden Ärzten erzielt worden sind. Dabei ist für Thorax-, Magen- und Colonuntersuchungen jeweils eine Kurve vorhanden. Auch ist für jede dieser Untersuchungsarten eine Gesamtkurve gebildet worden.

In diesen Gesamtkurven kommt der durchschnittliche Verlauf der Belastungskurven der einzelnen Ärzte zum Ausdruck. Nach günstigen Anfangswerten setzt nach kurzer Zeit ein verhältnismäßig steiler Anstieg bis zu einem Höhepunkt ein, an den sich ein die Ausgangswerte etwa wieder erreichender allmählicher Abstieg anschließt. Der Höhepunkt liegt durchschnittlich im 5., der Abschluß des Abstiegs im 11. Monat der Röntgentätigkeit.

Der äußere Ausbildungsgang findet hier insoweit seinen Ausdruck, als die anfänglich guten Werte auf der zunächst umfassenden Hilfe und Kontrolle durch einen Facharzt beruhen. Das ständige Nachlassen dieser Kontrolle begünstigt dann das stetige Anwachsen der Werte.

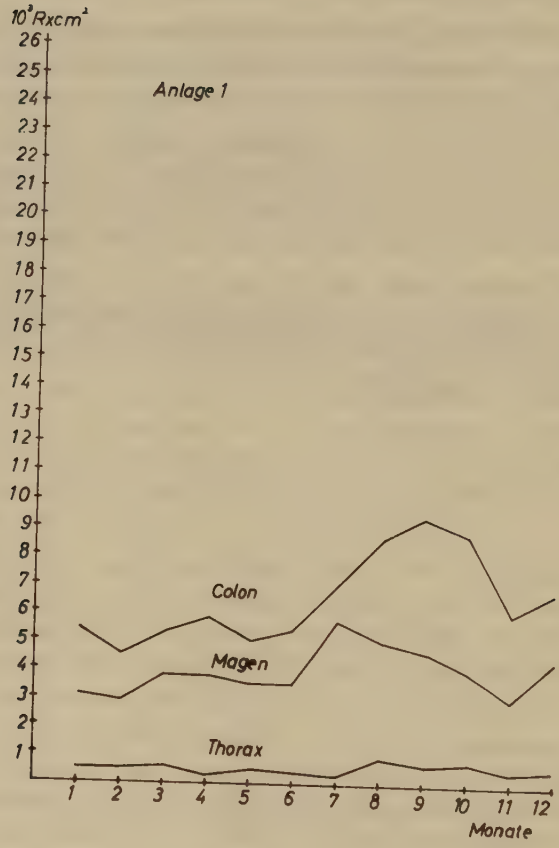
Auch der innere Ausbildungs- und Erfahrungsstand des Arztes spiegelt sich in den Kurven wider. Der Arzt ist anfangs noch ungeübt, einen pathologischen Befund festzustellen und auszuwerten. Bald entwickelt sich jedoch seine Kritikfähigkeit und bewirkt zusammen mit dem auf dem Nachlassen der fachärztlichen Hilfe beruhenden steigenden Verantwortungsbewußtsein eine wachsende Unsicherheit. Die anfänglich guten Werte beruhen also auch darauf, daß der Arzt das Bild überhaupt noch nicht genügend auswertet. Die genannten Faktoren führen dann zu dem steilen Anstieg

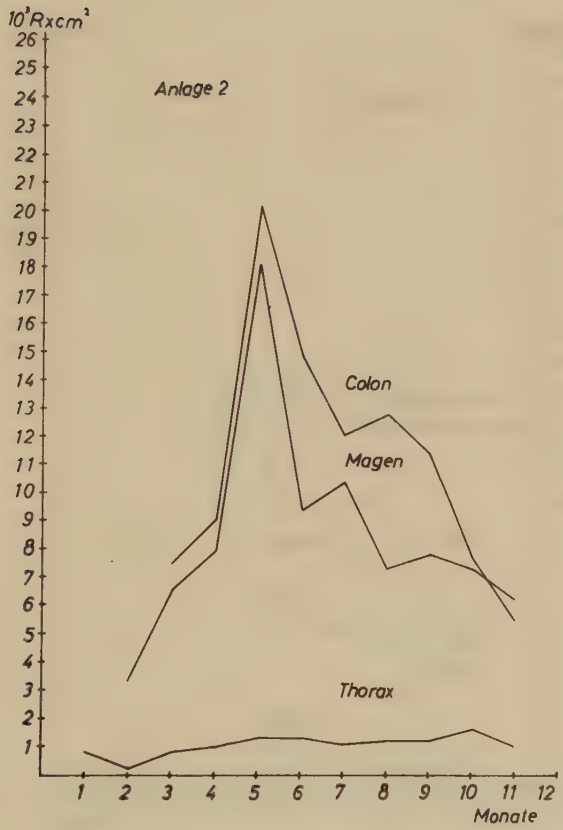
der Kurve. Durch die zunehmende Übung und Erfahrung des Arztes wird die Unsicherheit schließlich überwunden und die Werte wieder gesenkt. Der Abstieg führt im 12. Ausbildungsmonat zu vertretbaren Werten.

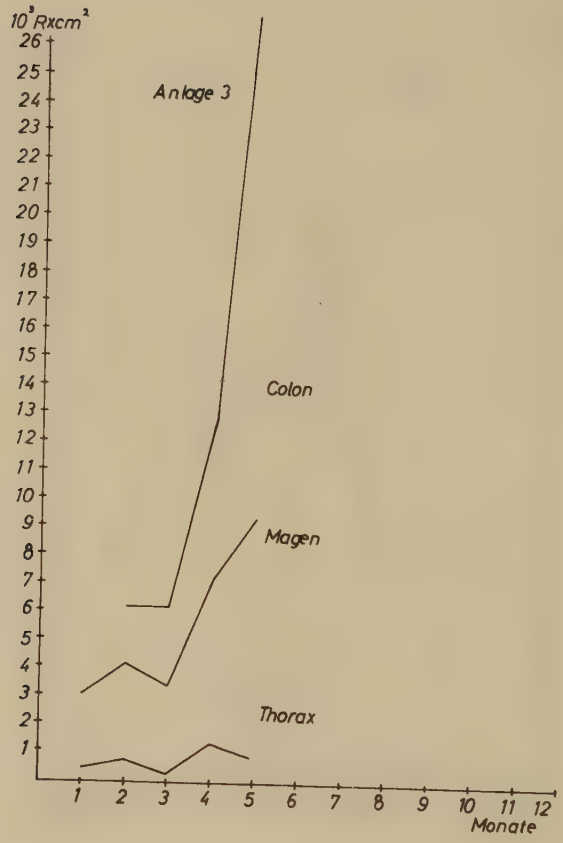
Auch der Vergleich mit den von Fachärzten durchschnittlich erzielten Werten ergibt, daß die Ärzte vertretbare Werte erst im 12. Ausbildungsmonat erreichen.

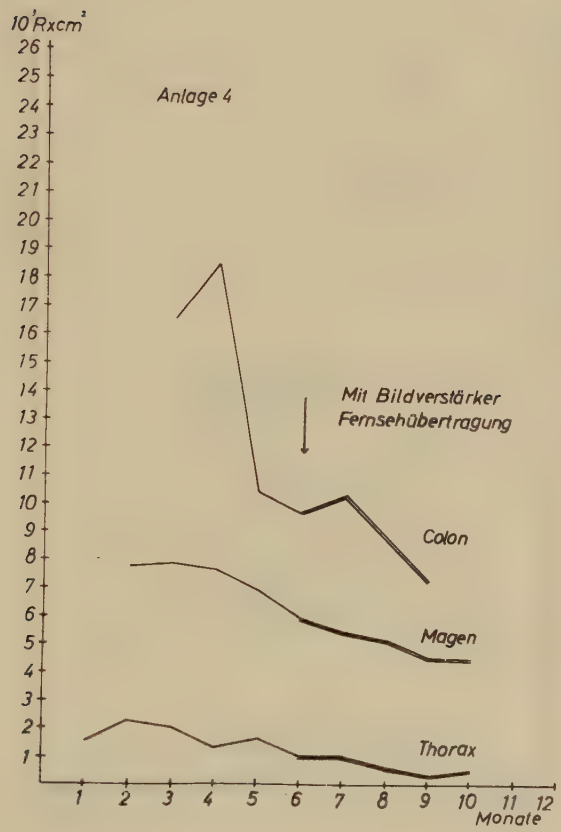
Es ist aus allem die Forderung abzuleiten, daß im Gegensatz zur heutigen Ausbildungspraxis, die eine nur sechsmonatige Röntgenausbildung vorsieht, die Ausbildungszeit auf mindestens ein Jahr zu erstrecken ist.

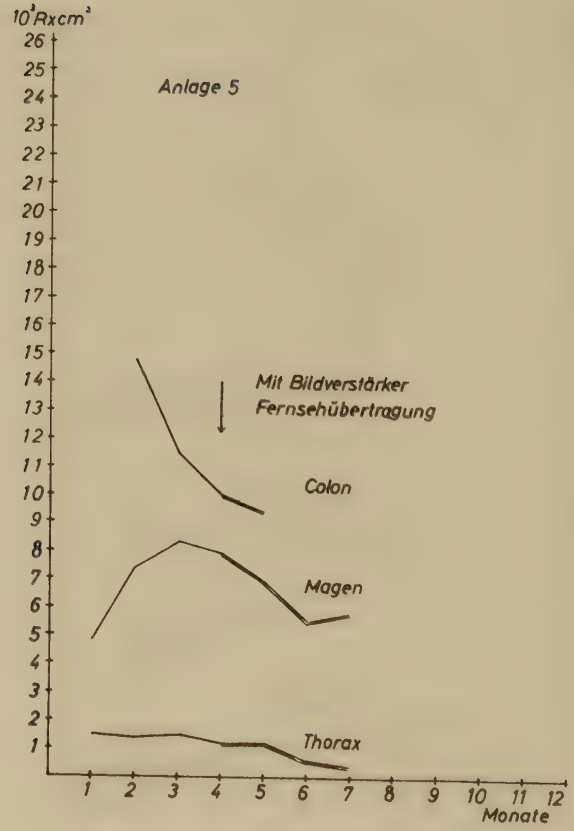
Im übrigen haben die Untersuchungen bestätigt, daß die Fernsehübertragungstechnik die bei Röntgenuntersuchungen anfallende Strahlenbelastung zu senken geeignet und daher zu empfehlen ist.

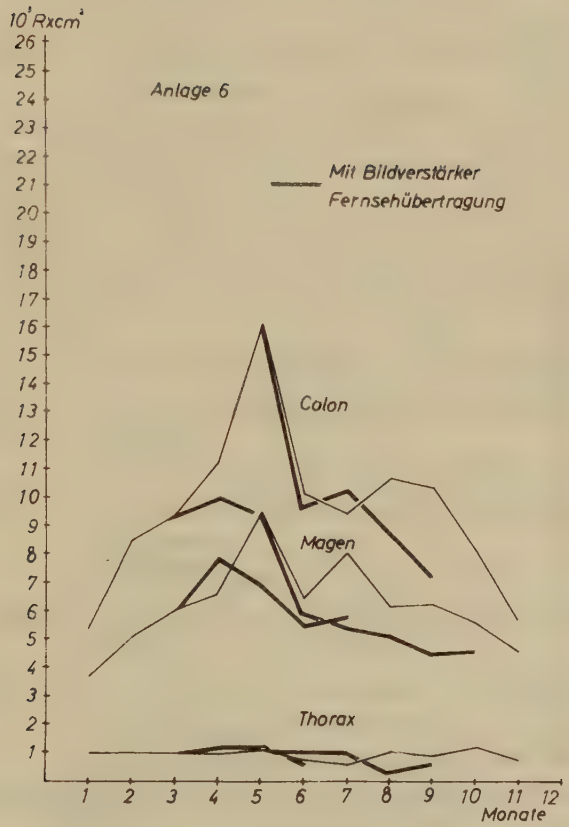

$10^3$ Rxcm²
Anlage 1
26
25
24
23
22
21
20
19
18
17
16
15
14
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
Colon
Magen
Thorax
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
Monate

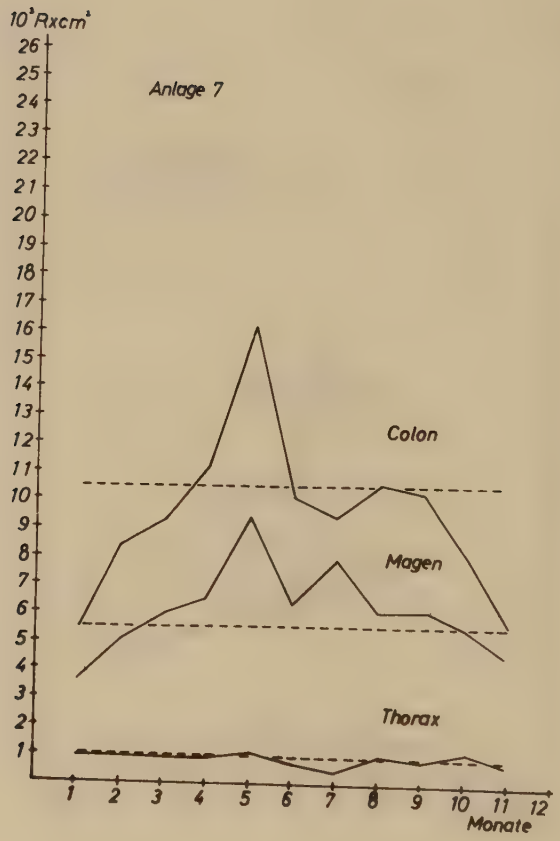

$10^3$ R x cm²
Anlage 2
Colon
Magen
Thorax
Monate


$10^3$ Rxcm$^2$
26
25
24
23
22
21
20
19
18
17
16
15
14
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
Anlage 3
Colon
Magen
Thorax
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
Monate


10³ R x cm²
Anlage 4
Mit Bildverstärker
Fernsehübertragung
Colon
Magen
Thorax
Monate


$10^3$ R x cm²
Anlage 5
Mit Bildverstärker
Fernsehübertragung
Colon
Magen
Thorax
Monate


10³ Rxcm²
26
25
24
23
22
21
20
19
18
17
16
15
14
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
Anlage 6
Mit Bildverstärker
Fernsehübertragung
Colon
Magen
Thorax
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
Monate


10³ Rxcm²
Anlage 7
26
25
24
23
22
21
20
19
18
17
16
15
14
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
Colon
Magen
Thorax
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
Monate

Literaturverzeichnis


ARDRAN,G.M.: Dose reduction in diagnostic radiology
Brit.J.Radiol. 3o, 436-438, 1957

ARDRAN,G.M.: Die Strahlendosen bei den strahlendiagnostischen Maßnahmen
Med.Klin. 54, 9o-93, 1959

ARDRAN,G.M. u. H.E.CROOKS: Routine dose recording in diagnostic radiology
Brit.J.Radiol. 36, 689, 1963

ARNAL,M.L. u. H.PYCHLAU: Die Strahlenbelastung der Patienten bei röntgendiagnostischen Untersuchungen
Ärztliche Forschung 16, 1, 247-258, 1962

BARANY,J.: Über den Wirkungsmechanismus der Röntgenstrahlen
Strahlentherapie 1o5, 3o7-314, 1958

BAUER,R.: Über die Strahlenbelastung der Menschen und ihre Gefahren
Münch.med.Wschr. 1o1, 6o2-6o6, 1959

BECK, DRESEL u. MELCHING: Leitfaden des Strahlenschutzes
Georg Thieme Verlag 1959

BEELER,E.: Wie groß ist die genetische Gefährdung durch Röntgenschirmbilduntersuchungen ?
Neue zahnärztl.Fortbild.N.F. 2, 591-595, 1959

BELLEFEUILLE,P.de : Genetic hazard of radiation to man
Acta radiol.(Stockh.) 56, 65-8o, 145-159, 1961

BENDER,M.P.: x-ray induced chromosome aberrations in normal diploid human tissue cultures
Science (Lancaster, P.a.) 126, 974-975, 1957

BISHOP,H.A., M.WEBBER u. B.J.O'LAUGHLIN: Reducing gonad

irradiation in pediatric diagnostics
Calif.Med. 9o, 2o-25, 1959

BLACKMAN,S. u. J.R.GREENING: Radiation hazards in dental radiography
Brit.Dent.J. 1o2, 167-172, 1957

BLATZ,H.: Common causes of excessive patient exposure in diagnostic radiology
New Engl.J.Med. 271, 1184-1188, 1964

BREITLING,G.: Grundsätzliches zum personellen Strahlenschutz
Röntgenbl. 14, 65-72, 1961

BUGHER,J.C.: Delayed radiation effects at Hiroshima and Nagasaki
Nucleonics 1o, 18-21, 1952

BUNDE,E.: Experimentelle Untersuchungen zur Frage der Patientendosimetrie in der Röntgendiagnostik
Dtsch.Röntgenkongress, Teil A, 153-164, 1963

BUNDE,E. u. P.PYCHLAU: Messung der Patientendosis in der Röntgendiagnostik
Radiologe 4, 367-371, 1964

CHADWICK,D.R.: Effects of radioactive contamination of the environment of public health
J.Dairy Sci. 45, 1552-1557, 1962

EFROIMSON,V.P.: The eshimation of the radiation effect upon the hereditary mechanism in man by following - up the chromosome diseases
Bjull.Mosk.obsc.Ispyt.Priv.Otd.Biol. 66, Nr. 3, 15o-152, 1961

EKERT,F.: Zu neuen oder weniger bekannten Prinzipien der praktischen Durchführung des Strahlenschutzes im röntgendiagnostischen Sektor
Med.Klin. 55, 59-68, 196o

FLOHN,H.: Natürliche und künstliche Radioaktivität in der Atmosphäre

Strahlenschutz in Forschung u. Praxis 3, 213-227, 1963

FOCHEM,K. u. R.PAPE: Problematik des Ovarialschutzes bei Röntgenaufnahmen des Beckens
Fortschr.Röntgenstr. 97, 785-793, 1962

FOCKE,R.: Erbliche Schäden durch ionisierende Strahlen
Georg Thieme Verlag 1959

FRITZ-NIGGLI,H.: Strahlenbiologie, Grundlagen und Erkenntnisse
Georg Thieme Verlag 1959

FRITZ-NIGGLI,H.: Schwierigkeiten und Probleme bei der Beurteilung der genetischen Strahlengefährdung
Röntgenbl. 18, 385-399, 1965

FRITZ-NIGGLI,H.: Neue Ergebnisse der Strahlengenetik
Fortschr.Röntgenstr. 85, 265-273, 1956

FROST: Praktischer Strahlenschutz
Walter de Gruyter Verlag 196o

FUCHS,G.: Zur Frage der Strahlengefährdung durch Radiumuhren
Radiol.austriaca 12, 153-156, 1961

GEFFERTH,K.: Gezielter Strahlenschutz der Ovarien
Fortschr.Röntgenstr. 98,477-482, 1963

GLOCKER,R.: Grundfragen der Röntgenstrahlen - Dosimetrie
Fortschr.Röntgenstr. 9o, 1o1-1o9, 1959

GRAUL,E.H.: Ungelöste Probleme und vergleichende Strahlenforschung Teil II
Atompraxis 4, 54-59, 1958

HAMMER-JACOBSEN,E.: Genetically significant radiation doses in diagnostic radiology
Acta radiol., Suppl.222, 1963

HOLTHUSEN,H.: Ergebnisse einer statistischen Erhebung über die genetische Belastung der Bevölke-

rung durch die medizinische Strahlenanwendung in Hamburg
Strahlenschutz in Forschung und Praxis 1, 22-49, 1961

JAEGER,R.G.: Die Einheiten der Strahlendosimetrie und ihre Zusammenhänge
Atomkernenergie 3, 21-27, 1958

JUNG,T.: Strahlenschutz in der zahnärztlichen Praxis
Öffentlicher Gesundheits-Dienst 26, 22-34, 1964

KAPLAN,R.W.: Die Gefährdung der Erbanlagen des Menschen durch Strahlen
Naturwissensch. 44, 433-438, 1957

KARLSON,P.: Kurzes Lehrbuch der Biochemie
Georg Thieme Verlag, 3.Aufl. 97-122, 1962

KIRSH,J.E.: Useful precautions in radiography from the genetic point of view
Amer.Med.assoc. 164, 553-554, 1957

KIRSTNER,G.: Radioaktives Jod in Frischgemüse
Naturwissensch. 51, 1o9, 1964

KLOTZ,E.: Die Gonadenbestrahlung bei Normal- und Hartstrahltechnik
Röntgenbl. 11, 353-359, 1958

KLOTZ,E. u. W.SEELENTAG: Untersuchungen zur Belastung der Keimdrüsen durch Hartstrahltechnik
Fortschr.Röntgenstr. 89, 92-1oo, 1958

KNORR,D.: Über die Gonadenbelastung durch übliche Röntgenuntersuchungen im Kindesalter
57.Tg.Dtsch.Ges.f.Kinderheilkunde, Graz, IX, 15-17, 1958

KOCZKAS,G., J.BOJTOR u. E.SARMAI: Die Vergleichsuntersuchungen von Eisen- und Aluminiumfiltern in der Röntgendiagnostik

Fortschr.Röntgenstr. 1o1, 661-664, 1964

KROKOWSKI,E.: Physikalische Dosis und biologische Wirksamkeit ionisierender Strahlen
Röntgenpraxis 18, 73-82, 1965

LANGENDORF,H.: Grundlagen der Strahlenbiologie
Strahlenschutz in Forschung und Praxis 2, 35-41, 1962

LASKOWSKI,W.: Grundlagen der Strahlenbiologie
Röntgenpraxis 17, 247-26o, 1964

LESSLER,A.: Nuclear - cytoplasmatic interaction with ionizing radiation
Int.Rev.Cytol. 16, 155-172, 1964

LOEFFLER,L.: Mutationen - Selektion und der Umgang mit ionisierenden Strahlen in humangenetischer und sozialbiologischer Sicht
Strahlenschutz in Forschung und Praxis 2, 61-87, 1962

LORENZ,W.: Ist selbst die kleinste Röntgenstrahlenmenge für den Menschen gefährlich ?
Dtsch.med.Wschr. 86, 47o-473, 1961

MACHT,S.H. u. P.S.LAWRENCE: National survey of congenital malformations resulting from exposure to roentgen radiation
Amer.J.Roentgenol. 73, 442-466, 1955

MANDL,A.M.: The radiosensivity of germ cells
Biol.Rev. 39, 288-371, 1964

MARQUARDT,H.: Natürliche und künstliche Erbänderungen
rororo rde, 98-165, 1957

MARQUARDT,H.: Höchstzulässige Dosen aus der Sicht der Strahlengenetik
Atompraxis 6, 2o-25, 196o

MARQUARDT,H. u. G.SCHUBERT: Die Strahlengefährdung des

Menschen durch Atomenergie
rororo rde, 1959

MEISSNER,J.: Natürliche und zivilisatorische Strahlenbelastung des Menschen
Atomenergie 1o, 75-79, 1965

MOHR,H.: Methoden zur Herabsetzung der Strahlenbelastung in der Röntgendiagnostik
Radiol.diagn.(Berl.) 3, 239-243, 1962

MOHR,H. u. T.STARKE: Strahlenbelastung der Patienten bei Thoraxuntersuchungen
Dtsch.med.Wschr. 85, 561-563, 196o

MUTH,H. u. E.OBERHAUSEN: Die natürliche Strahleneinwirkung und die maximal zulässigen Dosiswerte
Radiologe 2, 361-368, 1962

NEEL,J.V. u. W.J.SCHULL: The effect of exposure to the atomic bombs on pregnancy termination in Hiroshima and Nagasaki
National Academy of Sciences - National Research Council, Washington 25,D.C. 1956, Publication No.461 (pp 241)

OSBORN,S.B.: The implications of the reports of the Committee on Radiological Hazards to Patients (Adrian Committee)
I. Variations in the adation dose received by the patient in diagnostic radiology
Brit.J.Radiol. 36, 23o, 1963

PAPE,R., J.ZAKOVSKY u. A.HASTARA: Über die röntgendiagnostische Strahlenbelastung der Kinder in Spitälern und Ambulatorien
Fortschr.Röntgenstr. 1oo, 1oo-113, 1964

PAPE,R. u. J.ZAKOVSKY: Die Strahlenbelastung der Untersuchten bei Routinedurchleuchtungen
Fortschr.Röntgenstr. 92, 543-561, 196o

PAPE,R. u. J.ZAKOVSKY: Über die röntgendiagnostische Strahlenbelastung der Jugendlichen und der Erwachsenen
Fortschr.Röntgenstr. 1o3, 326-343, 1965

PAULY,H.: Biophysikalische Grundlagen der Strahlenbiologie
Strahlenschutz in Forschung und Praxis 2, 15-32, 1962

PAULY,H.: Grundlagen der Strahlenbiologie
Radiologe 2, 372, 1963

PYCHLAU: Gebrauchsanweisung zum Diamentor
Physikal.-techn.Werkstätten K.G. Freiburg/Br.

RAJEWSKI,B.: Wissenschaftliche Grundlagen des Strahlenschutzes
Verlag Braun 1957

RAJEWSKI,B. u. H.PAULY: Neue Wege in der biophysikalischen Strahlenbiologie
Strahlentherapie 112, 489-5oo, 196o

RAUSCH,L.: Strahlenschutz als angewandte Strahlenbiologie
Strahlenschutz in Forschung und Praxis 2, 23o-273, 1962

RUMMEL,A.: Gonadenbelastung in der Röntgendiagnostik
Strahlentherapie 112, 124-131, 196o

RUSSELL,L.B. u. C.L.SAYLORS: The relative sensivity of various germcells stages of the mouse to radiation - induced nondisjunction, chromosome loses and deficiencies
Repair from Genetic Radiation, 1963

RUSSELL,R.S.: Deposition of strontium 9o and its content in vegetation and in human diet in the United Kingdom
Nature 182, 834-839, 1958

RUSSELL,W.L. u. L.B.RUSSELL: Radiation - induced genetic damage in mice
Second United Nations Intern.Conf. on the peaceful uses of Atomic Energy
A/Conf.15/p/897 U.S.A. June 1958

SCHINZ,H.R. u. R.WIDEROE: Strahlenbiologische Wirksamkeiten, RWB und rem
Dtsch.med.Wschr. 89, 1310-1314, 1964

SCHINZ,H.R. u. R.WIDEROE: Strahlenmessungen in der medizinischen Radiologie
Fortschr.Röntgenstr. 97, 63-81, 1962

SCHINZ,H.R. u. R.WIDEROE: Patientendosimetrie in der Röntgendiagnostik
Fortschr.Röntgenstr. 103, 344-348, 1965

SCHLUNGBAUM,W.: Medizinische Strahlenkunde
Walter de Gruyter Verlag 1963

SCHOEN,D. u. G.GRIESSER: Vorläufige Ergebnisse einer Erhebungsaktion über die Strahlenbelastung des Patienten bei Durchleuchtungen mit und ohne gezielte Aufnahmen
Dtsch.Röntgenkongress, Teil A, 381-389, 1963

SEELENTAG,W.: Die Radioaktivität in der Umwelt des Menschen und ihr Anteil an seiner Strahlenbelastung
Strahlenschutz in Forschung und Praxis 3, 309-322, 1963

SEELENTAG,W.: Genetische Belastung durch Röntgendiagnostik
Strahlentherapie 105, 169-195, 1958

SEELENTAG,W.: Die genetische Strahlenbelastung der Bevölkerung Bayerns durch röntgendiagnostische Maßnahmen an Krankenhäusern
Röntgenbl. 11, 267-272, 1958

SEELENTAG,W.: Zur Frage der genetischen Belastung der Bevölkerung durch die Anwendung ionisierender

Strahlen in der Medizin
Strahlentherapie 1o4, 182-196, 1957

SEELENTAG,W.: Strahlenschutz in Gesetzen, Vorschriften und Empfehlungen
Radiologe 4, 349-355, 1964

SEELENTAG,W. u. E.KLOTZ: Die Strahlenbelastung der Bevölkerung durch Leuchtziffern von Uhren
Strahlentherapie 11o, 6o6-621, 1959

SEELENTAG,W. u. SUMER PEK: Die genetische Belastung der Bevölkerung bei Durchleuchtungen in Schuhgeschäften
Strahlentherapie 11o, 116-132, 1959

SEELENTAG,W., J.NUMBERGER, D.KNORR u. G.KOLBERG: Zur Frage der genetischen Belastung der Bevölkerung durch die Anwendung ionisierender Strahlen in der Medizin.
IV. Die Strahlenbelastung durch die Röntgendiagnostik in Kinderkliniken
Strahlentherapie 1o7, 537-555, 1958

SEGALL,A.: Measurement of background radiation for epidemiologic studies
Amer.J.Publ.Hlth 52, 166o-1668, 1962

SOWBY,F.D.: Dose to the gonads during diagnostic procedures
J.Canad.Assoc.Radiologists 8, 57-59, 1957

TAYLOR,L.S.: Radiation in the world we live in
Radiology 8o, 359, 1963

VOGEL,F.: Zur Problematik induzierter Mutationen beim Menschen
Röntgenbl. 11, 193-2o5, 1958

WILSON COX,D.: An investigation of possible genetic damage in the offspring of women receiving multiple diagnostic pelvic x-rays

Amer.J.hum.Genet. 16, 214-23o, 1964

WINDEYER,B.W.: The contribution of diagnostic radiology to population dose
9.int.Congr. Radiologe 1, 99-1o3, 1961

ZIMMER,K.G.: Entwicklung und Stand der Hypothesenbildung in der quantitativen Strahlenbiologie
Naturwissensch. 45, 325-327, 1958

ZUPPINGER,A.: Biologische Strahlengefährdung
Ergebn.inn.Med.Kinderheilkunde 1o, 362-382, 1958

( Autor unbenannt ): Radionuclides in foods
Hlth.Phys. 9, 569-596, 1963

außerdem:

HOLTHUSEN u.Mit. 1961, Res.Group of Japan 1961, SEELENTAG u.Mit. 196o u.1961 unveröffentl.Ausgaben.
UNO - REP - A/3838
Strahlenschutz in Forschung und Praxis 3, 3o9-322, 1963

Herrn Prof. Dr. F. Hess möchte ich für die Überlassung des Themas, für die Übernahme des Referates sowie für die freundliche Unterstützung bei der Abfassung der Arbeit danken.

Meine akademischen Lehrer waren die Herren Professoren und Dozenten

Ammon, Bechtelsheimer, Beckmann, Berendes, Bickel, Bommer, Braun - Falco, Brück, Buchholz, Bücher, Cleve, Deicher, Delbrück, Dimroth, Dittrich, Dölle, Drawert, Ehrhardt, Exner, Gedigk, Golenhofen, Hamm, Hardewig, Hensel, Herrmann, Hess, Heuser, Hildebrandt, Hohorst, Jakob, Klingenberg, Knauff, Korb, Lang,J., Lang,N., Linneweh, Löhr, Lübbers, Mahr, Mann, Martini, Marx, Mattes, du Mesnil de Rochemont, Neubauer, Niessing, Nocke, Peters, Petry, Petzoldt, Rodeck, Rohen, Salfeld, Sauer, Schiff, Schleyer, Schlosser, Schmid, Schmidt, Schürmann, Schultze, Schwaiger, Seidel, Siegert, Siess, Spiegelberg, Straub, Streicher, Strohmeyer, Walcher, Wendt, Würterle.

Lebenslauf

Am 3. Februar 1943 wurde ich, Ulrike Wapenhensch, geb. Niedermüller, als Tochter des Holzkaufmannes Paul Niedermüller und seiner Ehefrau Mathilde, geb. Rippelmeyer, in Thorn / Westpreußen geboren. Mein Vater ist seit 1945 im Kriege vermißt. Am 19. Januar 1968 heiratete ich den Gerichtsreferendar Andreas Wapenhensch.

Nach der Flucht 1945 besuchte ich von 1949 bis 1953 die Volksschule in Bad Salzuflen, von 1953 bis 1956 die Freie Waldorfschule des Landschulheimes Schloß Hamborn und von 1956 bis 1962 die Freie Waldorfschule Marburg / Lahn.

Im Sommersemester 1962 begann ich mein Medizinstudium an der Philipps - Universität in Marburg / Lahn. Nach zwei Semestern bestand ich 1963 das Vorphysikum, nach fünf Semestern 1964 das Physikum und nach elf Semestern am 18. Dezember 1967 das Staatsexamen. Am 29. Januar 1968 legte ich in Marburg / Lahn die Doktorprüfung ab.